EDUARDO PUNSET

CARA A CARA CON LA VIDA, LA MENTE Y EL UNIVERSO

Conversaciones con los grandes científicos de nuestro tiempo



DESTINO imago mundi

Índice

Con cierta premura, a toda la gente que ha trabajado y pensado para sobrevivir. Antes de que se descohesionen mis átomos.

Prólogo

Suele suceder que huéspedes o estudiantes de visita en mi casa busquen una fecha o el día del mes actual en un calendario largo y estrecho, dedicado cada año a diferentes temas de historia natural, que, en mi cocina, cuelga de una de las jambas de la puerta de la escalera del sótano. Una rápida mirada y deducen que *dilluns*, *dimarts* y *dissabte* significan lunes, martes y sábado, respectivamente. Es fácil deducir que «di-» se refiere a «día» porque los nombres de los siete días de la semana tienen ese prefijo. Entonces les hago la pregunta difícil… si no se adelantan ellos a hacerla. «¿Qué lengua es ésta?» El comentario típico puede ser: «Debe de ser español, pero no es el mismo español que yo estudié en la escuela y olvidé hace años» o «noto que no es español; por lo tanto, debe de ser portugués» o «se parece al latín, pero es una lengua que no he oído nunca; ¿no será rumano?». No, no es ninguna de esas lenguas. Les explico que es una lengua viva y les pido que adivinen cuál. Han pasado veinte años desde que la doctora Marta Estrada, discípula del fallecido profesor Ramon Margalef, empezó a enviarme este bonito y práctico calendario, con simpáticos y sencillos dibujos que representan cada mes un insecto, un pájaro, una flor, o algún otro representante de la fauna y la flora autóctonas. Su autor, Enric M. Gelpí, es un amante de la naturaleza que trabaja en el pequeño pueblo de Samalús, cerca de Granollers. Durante todos estos años, ninguna persona de Estados Unidos ha sabido identificar correctamente la lengua del calendario. No sólo eso, aunque se trata de una lengua hablada por más de ocho millones de ciudadanos en Europa occidental, la mayoría de las personas que lo ven en la cocina de mi casa ni siquiera han oído hablar de esa lengua cuando les aclaro cuál es. Mis amigos universitarios suelen estar al corriente de que los términos catalán y valenciano se refieren a alguna lengua europea, pero incluso ellos suelen ignorar que se trata fundamentalmente de una misma

lengua y que no son dialectos del español. Se sorprenden mucho cuando les digo que es una lengua hablada por unos seis millones de personas en el noreste de España, además de hablarse en Valencia, las islas Baleares, en la región francesa del Rosellón y en la ciudad sarda de Alghero o l'Alguer. He comprobado que los canadienses, estadounidenses, mexicanos y los habitantes de los países de Centroamérica y Sudamérica que conocen la existencia del catalán (o del valenciano) saben que es la lengua hablada en Barcelona y en Valencia, ciudades de una gran vitalidad. Lo que suele ignorar mucha gente más allá de ese rincón de Europa fértil y lleno de colorido es hasta qué punto llega el interés, el conocimiento y la preocupación por la ciencia y por los temas ambientales en las personas que hablan aquella lengua, ya sean jóvenes o ancianos.

Mucho más que cualquier otra, la ciencia es una actividad internacional en su alcance y con una historia común, compartida por todos los pueblos. Steward Brand, autor y gurú fundador de *The Co-Evolution Quarterly* y *The Whole Earth Catalogue*, lo dijo de manera sucinta cuando exclamó: «La ciencia es la única noticia, todo lo demás es chismorreo: él dice, ella dice, él dice…». En ninguna parte es la ciencia la única noticia verdadera como en la Rambla de Barcelona, un ancho paseo que empieza en la plaza de Cataluña y termina junto al mar, en el monumento a Cristóbal Colón. Allí, entre pájaros enjaulados, puestos de flores, hombres y mujeres estatua y terrazas de café siempre abarrotadas, hay quioscos de revistas con un gran surtido en las principales lenguas modernas y abiertos las venticuatro horas. Allí, en medio de aquel gran bullicio internacional, se puede comprar una bonita guía ilustrada de la ciudad: *Paseos por la Barcelona científica*. Publicada por el Ayuntamiento de Barcelona, con el apoyo de su alcalde y escrita por dos personas (Xavier Duran y Mercè Piqueras) con un conocimiento profundo de la ciencia médica, la botánica, la industria y la arquitectura de talla mundial de la ciudad, esta guía, apta para cualquiera que sienta predilección por la ciencia, está disponible en inglés, catalán y castellano. No es sorprendente que a finales del siglo XIX Santiago Ramón y Cajal, que desarrolló una teoría nada convencional sobre la neurona y es uno de los dos únicos españoles que han recibido un premio Nobel en ciencias (el de 1906; el otro fue Severo Ochoa, premiado en

1959), trabajase en esta ciudad. Tampoco sorprende que la obra impresa más importante y extensa que se haya publicado sobre el ambiente de nuestro planeta, de once volúmenes profusamente ilustrados, sea una enciclopedia en catalán (*Biosfera*, 1990-1999). Un espíritu de amplias miras, especialmente hacia el mundo de la ciencia, impregna esa parte del mundo donde todos los niños son bilingües de manera natural y muchos incluso políglotas (catalán, español, inglés y a veces también francés). La ciencia, considerada un componente de la cultura mundial, tiene allí una gran vitalidad. Donde eso es más evidente es en el enorme nuevo Museo de la Ciencia, que dirigido por un físico, el catedrático de la Universidad de Barcelona Jorge Wagensberg, ha abierto sus puertas en septiembre de 2004, en una ceremonia que ha merecido la visita de los reyes de España.

En este brillante mundo se inscriben estas conversaciones y el compromiso concluyente por la comunicación de Eduardo Punset, un hombre a quien la gente reconoce por la Rambla, pues su cara resulta familiar y su nombre es conocido desde hace años. Su reputación se debe en parte a que, en esa situación social que promueve el interés por las noticias científicas, él ha elegido a científicos en activo y a divulgadores que atraen al público y son elocuentes para interaccionar con ellos en un programa de televisión que, a pesar de emitirse de madrugada, ha alcanzado gran popularidad. Algunas de esas conversaciones —más que entrevistas— tienen ahora su continuación en este libro.

En *Cara a cara con la vida, la mente y el Universo,* Punset conversa con sus expertos y los atrapa alrededor de temas relacionados con aspectos realmente curiosos, en los que quizá todos deberíamos implicarnos. Ha insistido a sus entrevistados para que hablen de manera asequible y los ha hecho partícipes de pensamientos que no están necesariamente relacionados con la obra de cada uno de ellos, instándoles a que se centren en las preguntas que él les hace. Desde la ciencia de la belleza a la belleza de la ciencia, desde los electrones hasta partículas aún más abstractas, hasta la afirmación que fue la vida la que hizo de la Tierra un planeta acuoso y habitable y que, basándose sólo en la física y en la química, no debería existir vida en la Tierra, Punset nos deleita a medida que expone los intereses intelectuales del propio mundo de la ciencia. Stephen Jay Gould

niega que haya un «propósito» en la evolución, algo con lo que no está de acuerdo Dorion Sagan. La termodinámica, la ciencia del flujo de calor y de otras formas de energía, revela que la vida es un comportamiento con un propósito: la reducción de los gradientes que la naturaleza aborrece. E. O. Wilson afirma que las personas no somos superorganismos mientras que Douglas Wallace y yo misma sabemos que sí que lo somos: nuestros cuerpos se han formado a partir de comunidades de antiguas bacterias que en otro tiempo tuvieron una vida independiente y ahora están permanentemente integradas.

¿Existe la vida en el espacio exterior? ¿De dónde surgieron las primeras formas de vida? ¿Hacia dónde va la vida en su evolución? ¿Qué es la conciencia? ¿Son los humanos los únicos seres inteligentes? ¿Podían hablar entre sí los hombres y mujeres de Neanderthal? ¿Lo que percibimos es lo que ocurre realmente? ¿Está fijada en nuestros genes la ansiedad? ¿Podemos retrasar el envejecimiento? ¿Es instintiva el habla?

Punset nos trae una visión internacional y refrescante de la ciencia, una que pregunta a los científicos las mismas preguntas que ellos se hacen a sí mismos. Tenemos acceso a una larga conversación que va de un tema a otro, a veces por vericuetos y a menudo centrada, desde lo diminuto a lo inmenso, desde lo documentado a lo sesgado, desde lo medido directamente a la mera conjetura. Y lo que es más importante: Punset y las personas con quien conversa nos fascinan con su visión responsable y bien desarrollada. Ojalá que, siguiendo el espíritu verdaderamente internacional de la región y del mundo de la búsqueda científica, este libro sea traducido a las principales lenguas del mundo, especialmente al japonés, chino, inglés, ruso, alemán y francés. Se lo merece.

LYNN MARGULIS
Distinguished University Professor,
Departamento de Ciencias de la Tierra,
Universidad de Massachusetts-Amherst

Introducción

«En el siglo pasado hubo más cambios que durante los mil años anteriores. Y los que ocurrirán en el nuevo siglo harán que los del siglo pasado apenas sean perceptibles.» Lo dijo H.G. Wells en una conferencia pronunciada en 1902: se refería, pues, al siglo XIX y XX. Tenía razón y, si viviera, podría repetir lo mismo ahora.

Pero si exceptuamos la voz de algunos visionarios como H.G. Wells, la verdad es que el cerebro humano sólo puede prever los cambios graduales característicos de la selección natural que ha presidido el desarrollo de las especies. Al neocórtex le está vedado vislumbrar el cambio exponencial, o su equivalente: la compresión en un instante de la inmensidad del tiempo geológico.

La fábula del emperador chino y el maestro de ajedrez que le enseñó a jugar es muy ilustrativa. Ante la insistencia del emperador en que el maestro de ajedrez le pidiera el regalo que quisiera como contrapartida a sus lecciones, éste accedió a recibir la cantidad de arroz resultante de poner un grano en la primera casilla, dos en la segunda, cuatro en la tercera y así sucesivamente. Al emperador le costó salir de su asombro –demasiado tarde–, cuando los cálculos del maestro de ajedrez mostraron que no bastaría todo el arroz de China para cumplir su promesa. El emperador, como la gran mayoría de homínidos, no era capaz de pensar exponencialmente.

Hace cuatro mil millones de años, la Tierra fue bombardeada, probablemente, por miles de asteroides, las temperaturas eran incendiarias, no había oxígeno para respirar, la luna estaba pegada en la línea del mar –antes de irse alejando como ahora–, como único horizonte existente en aquel planeta marino, todavía sin tierra. Hace cuatrocientos millones de años, en cambio, las cianobacterias ya habían oxigenado la atmósfera, los

primeros animales y plantas procedentes del mar estrenaban continentes, la temperatura era un sueño tropical y la diversidad de especies alcanzó cotas jamás superadas. El cerebro humano, tan preocupado por las pequeñas rupturas o disfunciones de las estructuras y simetrías a las que está acostumbrado y que amenazan su supervivencia, no puede concebir cambios de escenario tan radicales como los ocurridos en los dos períodos señalados. Por eso recurre, a veces, a la utopía inspirada en los sueños –otra manera de pensar más sofisticada y alambicada que la reflexión diurna–. La incapacidad de concebir el tiempo geológico en toda su extensión constituye hoy una de las principales amenazas que se ciernen sobre el futuro de la humanidad.

La mayoría de conversaciones con los principales científicos del planeta que figuran en este libro nos sitúan en la perspectiva del tiempo geológico. Nada de lo que pasa hoy por nuestra mente, sucede en nuestra vida o acaece en el Universo puede explicarse sin remontarse a los orígenes y anticipar el futuro. La vida, la mente y el Universo son imposibles de encajar fuera de la perspectiva del tiempo geológico por la sencilla razón de que no se trata de un pensamiento, ni de la fotografía de un instante, ni de un suceso aislado, sino de largos procesos. Sólo así tienen sentido consensos científicos como la hipótesis de que, a efectos del futuro de las plantas y animales que viven en ella, la Tierra ha sobrepasado la edad de la madurez y ha iniciado la etapa final de su envejecimiento.

Es tediosamente cierto que, mirando al pasado, podemos intuir algunas de las grandes transformaciones que se avecinan, pero no en la versión académica de extrapolar situaciones. El pasado es una fuente de inspiración porque apunta las líneas de ruptura de las tensiones acumuladas. Analizando los movimientos de las capas tectónicas submarinas, podemos anticipar dónde se producirá la erupción del volcán o terremoto subsiguiente al choque. Pero nadie puede predecir su configuración exacta. Las capas tectónicas que alimentan el ciclo de renovación de los organismos movientes es el cerebro. Y las líneas de ruptura empiezan a estar claras.

El cerebro, pese a la opinión de muchos neurocientíficos, no está a la altura de las circunstancias. Sólo hay que mirar alrededor para constatarlo. El conocimiento heredado por los genes –el temor a las arañas y las serpientes, la ansiedad paralizante frente al rugido de una leona–, son irrelevantes en el contexto de hoy. El conocimiento adquirido es, básicamente, infundado. Muy poco de lo aprendido durante los últimos sesenta mil años, antes de la revolución científica y tecnológica, servirá de guía para buscar el éxito y la felicidad en los nuevos escenarios que se avecinan. Habrá que cambiar de manera de pensar. Pero no me refiero a los cambios de mentalidad que, siendo más lentos que los cambios técnicos y sociales, siguen siendo frecuentes, sino a la manera de pensar, al proceso cognitivo, a la metodología para interpretar las sensaciones.

Se puede argumentar que el proceso cognitivo desarrollado por el cerebro a lo largo de la evolución no es sólo responsable de desaciertos, sino de grandes avances como la revolución científica y tecnológica. Es cierto, pero casi todos esos descubrimientos se han producido por casualidad. Soñando, podríamos decir. Una casualidad impulsada por la curiosidad característica del colectivo científico y su manía de preguntar cosas a la naturaleza en lugar de a las personas.

En las conversaciones que he mantenido a lo largo de los últimos diez años con múltiples científicos, publicadas en parte en este libro, aparecen muchas piezas del *puzzle* de las transformaciones necesarias a las que me refería antes. *Cara a cara con la vida, la mente y el Universo* es el final de un itinerario compartido y multidisciplinar que se ha extendido durante más de una década. Este libro es el resultado de un esfuerzo singular que no habría cristalizado sin contar con el sentido de anticipación y apoyo de RTVE al programa *Redes*, el primero en España dedicado a la comprensión pública de la ciencia, ni sin la dedicación y profesionalidad de mis colaboradores Sílvia Bravo, física, que ha revisado y coordinado la edición del manuscrito, Sebastián Grinschpun, físico también, las biólogas Miriam Peláez y Cristina Junyent, el creativo Iker Albéniz y el asesoramiento y afecto constante del editor Mauricio Bach. A todos ellos, mis gracias más sentidas.

Barcelona, septiembre de 2004

Capítulo I

La ciencia de la belleza

Victor Johnston

Steven Strogatz

Victor Johnston, profesor de Biopsicología de la Universidad de Nuevo México, es pionero en el estudio de nuestra percepción de la belleza, la respuesta humana a las diferentes características del rostro y el cuerpo, y los orígenes de nuestras emociones.

Steven Strogatz, profesor de Matemática Aplicada en la Universidad de Cornell, en Estados Unidos, donde estudia la emergencia de sincronías en la naturaleza. Junto al sociólogo Dun Watts descubrió el fenómeno conocido como «el mundo pequeño». Un ejemplo: dos personas cualesquiera de nuestro planeta se pueden relacionar entre sí por una cadena de sólo seis conocidos.

Marcadores biológicos

VICTOR JOHNSTON

«Si medimos diferentes partes del cuerpo, podemos ver lo asimétrica que es una persona. Éste es un indicador del sistema inmunológico muy sensible en todas las especies. Cuantas menos asimetrías se encuentren, mejor es el sistema inmunológico. Por ese motivo se siente una preferencia hacia personas más simétricas.»

En los últimos quince años —no es mucho tiempo en la perspectiva del tiempo geológico a la que se alude repetidamente en este libro, pero no es nada desdeñable respecto a la esperanza de vida— he vivido inmerso en el mundo tecnológico y científico. No extrañará a nadie si doy fe de que la ciencia no ha irrumpido todavía en la cultura popular y de que la vida cotidiana de la gente transcurre al margen del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC).

Constituye una novedad, en cambio, descubrir que en la propia comunidad científica ocurre algo parecido pero a la inversa: para muchos científicos resulta una frivolidad pensar que los descubrimientos científicos tengan que ver con la vida cotidiana de la gente. La ciencia, para esa mayoría de científicos, no está diseñada para resolver las contingencias de la vida diaria, sino para profundizar en el conocimiento básico que puede y debe conducir a ninguna parte.

Esa idea constituye un error estrafalario que ha contribuido a cimentar la barrera entre ciencia y sociedad; una barrera que saltará por los aires en los próximos años y que los primeros en dinamitar han sido los geólogos y paleontólogos. Son ellos los que excavando rocas y fósiles de hace centenares de millones de años —¿podía darse algo más aparentemente alejado de los intereses inmediatos del ciudadano de una urbe moderna?— han resituado en su perspectiva geológica a la humanidad. Han redefinido nada menos que la condición humana y su

evolución. Al hombre de la calle perdido en medio del tráfico ensordecedor le han dicho dónde estaba situado exactamente. ¿Puede alguien aportar un bien tangible que sea comparable?

Y como ocurre tan a menudo en la historia de la ciencia y de la vida, el más importante no es el más conocido. En este caso concreto, ni siquiera muchos científicos conocen al fundador de su disciplina. En pleno siglo XVII*, el de la revolución científica, tanto los teólogos protestantes como los católicos —tan enfrentados en otras cuestiones— coincidían en la convicción de que la única fuente de información primordial sobre la Tierra era el Libro del Génesis. Los propios científicos estaban perfeccionando la «filosofía experimental» y todos consideraban absurdo que pudiera existir una ciencia sobre el pasado remoto.*

En el libro de Granvilles Penn Conversations on Geology*, escrito en 1828, aparece un diálogo muy ilustrativo*:

EDWARD: *¿Madre, has dicho conchas de mar en el seno de rocas en el interior de la Tierra? Tiene que haber algún error aquí. No parece creíble.*

MRS. R.: *La historia de las conchas, querido, y muchas otras cosas no menos maravillosas, forman parte de la ciencia llamada Geología, que trata de las primeras apariciones de rocas, montañas, valles, lagos y ríos; y de los cambios que han sufrido desde la Creación y el Diluvio hasta nuestros días.*

A Nicolai Stenonis —o Nicolás Steno, en su versión menos florida— corresponde el mérito de haber demostrado que de una roca inerte, del primer fósil, podía extraerse la comprensión de organismos vivos. Fue el primer anatomista, geólogo, paleontólogo y científico de la revolución científica.

Por lo demás, resulta harto difícil identificar un campo de la investigación básica que no haya tenido consecuencias prácticas: la ecuación $E=mc^2$ formulada en 1905 por Einstein permite descubrir que el Sol transforma masa en energía que, a su vez, alimenta la vida en la Tierra. Los llamados ciclos de Milankovich han permitido medir el nivel de CO_2 de

la atmósfera y demostrar que es el más alto de los últimos trescientos millones de años; las reflexiones de Dirac sobre la antimateria desembocan en las técnicas de tomografía por emisión de positrones (TEC); al elaborar la nueva geometría del espacio-tiempo Einstein descubre que el ritmo de los relojes depende de la gravedad y que, por lo tanto, la gente del piso de arriba envejece más lentamente que los de la planta baja; y la secuenciación del genoma —una tarea abstracta si las hay— permite ya la curación de aquellas enfermedades, muy pocas, que dependen sólo de un gen.

Al lector no le extrañará nada, pues, que iniciemos este itinerario de conversaciones con científicos tratando sobre la aplicación de la ciencia a uno de los temas más familiares para el hombre de la calle: la pasión por la belleza. Resulta que el encandilamiento amoroso de dos personas mirándose por las ventanillas respectivas de sus automóviles un lunes por la mañana no es un capricho cultural o un reflejo machista, sino el subproducto de un instinto básico que tiene sus propios marcadores dentro del cerebro. Es una manera de homenajear a Steno, recordando que ni los fósiles, ni la seducción sexual escapan al influjo de la ciencia. Tiempo habrá, en los siguientes capítulos, para hablar del Universo y la nanotecnología.

Probablemente la persona más indicada para hablar de la belleza, de cómo la percibimos y de por qué algunas caras resultan atractivas para todo el mundo, sea Victor Johnston, biopsicólogo de la Universidad de Nuevo México.

VICTOR JOHNSTON: Forma parte de nuestra naturaleza básica: generalmente, los hombres y las mujeres se sienten atraídos hacia el sexo opuesto, y esto está grabado en nuestro cerebro desde el comienzo mismo de la vida.

EDUARDO PUNSET: ¿Cómo funciona? Quiero decir, ¿qué tipo de señales buscamos?

V.J. Buscamos características atractivas en el sexo contrario. Por ejemplo, a los hombres les gustan las caras que muestran niveles bajos de testosterona, la hormona sexual masculina. La cara de una mujer

atractiva tiene la mandíbula inferior corta, que es el índice de bajo nivel de testosterona, y unos labios carnosos, como indicador de estrógenos, la hormona sexual femenina. Es decir, un alto nivel de estrógenos y un bajo nivel de testosterona, que indican una gran fertilidad. Es atractiva, para los hombres, una cara con estos marcadores hormonales, que indiquen una alta fertilidad.

E.P. Como la proporción entre la cintura y la cadera de 0,66, otro indicio de fertilidad que coincide con el de la Venus de Milo.

V.J. Sí.

E.P. ¿Por qué el cabello largo y sano es otro indicador de fertilidad?

V.J. La palabra sano es la clave. La salud es parte de la fertilidad. Una persona tiene que estar sana para ser un buen reproductor: tiene que tener la piel bonita y el cabello sano. Estas características también resultan muy atractivas para las personas de ambos sexos.

E.P. Victor, dime una cosa: ¿cuándo empezamos a percibir en los receptores del cerebro la atracción de la belleza?

V.J. Es muy difícil de establecer. Sabemos que las hormonas que influyen en nuestro cerebro en una época muy temprana de nuestro desarrollo, principalmente la testosterona, cambian la estructura del cerebro y posteriormente nos vuelven sensibles a los marcadores hormonales. De forma que hay un tema importante: un cerebro que ha sufrido una influencia hormonal en el útero, muy pronto, quizás en la decimotercera semana de vida embrionaria, momento en que se determina el sexo del cerebro. Y eso influirá en lo que la persona encontrará atractivo en la vida. De manera que el cerebro de los hombres se sentirá atraído principalmente por las caras de mujeres, y viceversa. Es decir que las hormonas no sólo influyen en el desarrollo del cerebro, sino también en el del cuerpo.

E.P. Pero parece ser que según la investigación que tú y tus colegas habéis hecho, esto sucede muy pronto, a los dos meses. ¿A esa edad un bebé ya se siente atraído por una cosa u otra?

V.J. Sí, y en realidad desde que son muy pequeños los bebés se sienten atraídos por caras normales y corrientes. Pero al crecer y entrar en la adolescencia, cambian y empiezan a sentirse atraídos por caras con

facciones más acentuadas. Por ejemplo, una chica se sentirá atraída por una cara con unas facciones más masculinas, y un chico viceversa.

E.P. Sugieres que, quizá, por el mecanismo de la selección natural, la gente siente atracción por la representación del promedio, pero cuando comienza la competición sexual, se olvida de la media y prefiere a esa chica que es más femenina que la otra.

V.J. En efecto. Es la selección natural: llama la atención el ser más atractivo que la media, como ese pavo real que muestra la cola, aunque esa cola no sea nada útil para la supervivencia del pavo, porque no es producto de la selección natural, pero en cambio le sirve para atraer al sexo opuesto y es un indicador muy importante para la hembra.

E.P. Aunque sea un lastre.

V.J. Sí, aunque sea un lastre y haya cierta pérdida reproductora, ya que la longevidad del animal se reduce porque no vive tanto tiempo por culpa de su larga cola, y además los predadores pueden cazarle más fácilmente. Pero estas pérdidas reproductoras se ven más que recompensadas por las ventajas que aporta el ser atractivo para el sexo opuesto, de forma que la cola es un producto de la selección sexual. Ocurre lo mismo con las características fisonómicas de las caras de los hombres y las mujeres, atraen al sexo opuesto porque dicen algo muy importante: la mujer dice «fertilidad» y creemos que el hombre dice «buen sistema inmunológico». Creemos que es importante que las mujeres puedan ver el sistema inmunológico de los hombres, porque mezclan sus genes con el hombre. Si el hombre tiene unos buenos genes, los hijos sobrevivirán y, por supuesto, sus genes también sobrevivirán. De forma que lo que buscan es un índice de competencia inmunológica, de buenos genes del sistema inmunológico.

E.P. De manera que incluso en las condiciones actuales siguen vigentes estos esquemas, que parecerían muy razonables hace sesenta mil años. Sorprende que lo que sugieres en realidad en tu investigación es que también en la actualidad resulta beneficioso ser guapo.

V.J. Desde luego.

E.P. ¿Se ha demostrado?

V.J. Existen estudios que demuestran que la belleza facilita la búsqueda de trabajo o la toma de decisiones. En los juicios hay una cierta benevolencia con la gente atractiva: reciben sentencias más cortas o son declaradas inocentes. La belleza también tiene una gran influencia en la selección del trabajo: los guapos encuentran trabajo; no es justo, pero es la realidad. Es como el azúcar en la sociedad de los cazadores-recolectores: si te gustaba el azúcar, comías fruta madura y tenías una dieta muy saludable. Hoy se ha separado el azúcar de su continente natural en las refinerías de azúcar. Todavía nos gusta el azúcar, aunque ahora nos mata. Pues con la belleza ocurre algo parecido: todavía tenemos ese gusto, aunque no lo necesitemos, ya que existen fármacos para incrementar la fertilidad, anticonceptivos y todo tipo de formas de manipular la fertilidad.

E.P. Pero la obsesión y los instintos básicos…

V.J. Los instintos básicos no se han perdido y parece que existirán durante mucho tiempo.

E.P. Es un detalle casi irrelevante, pero me sorprendió mucho que la belleza tenga un territorio propio. En otras palabras, cuando a alguien alto y guapo se le aproxima otra persona, se mantendrá a medio metro de distancia. Pero si es el guapo el que se aproxima a alguien pequeño, no se respetará esa distancia. Es como si el guapo llevara su propio territorio con él que es mayor, ¿verdad?

V.J. La gente guapa parece más inteligente, domina más. Resulta algo extraño, pero es la percepción en nuestra sociedad. Nos rendimos ante la gente guapa, les abrimos las puertas, les cedemos más territorio, somos más benévolos, les permitimos que cometan errores.

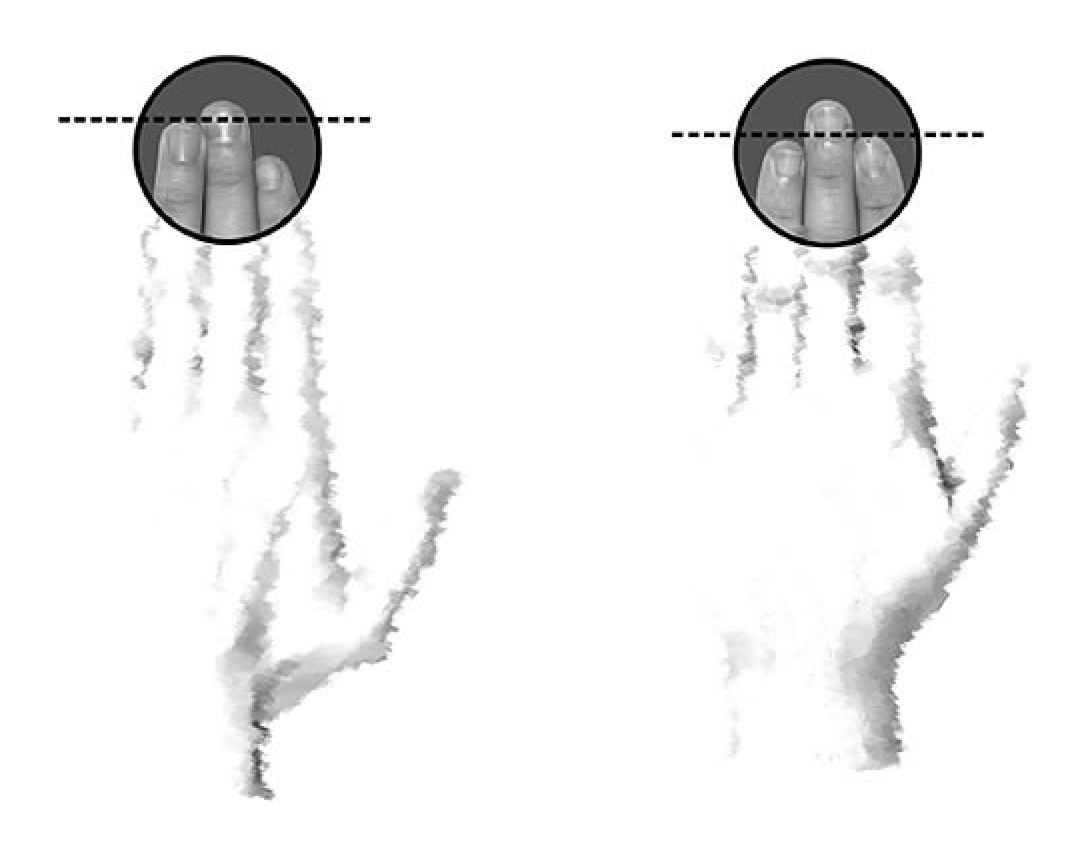
E.P. ¿Has indagado si las mujeres inteligentes tienen igual cabida que las guapas en el matrimonio?

V.J. No, nos hemos concentrado, principalmente, en las características físicas que hacen que la gente resulte atractiva, y en intentar entender por qué esas características son atractivas, ya que creemos que aquí hay algo que es biológicamente importante.

E.P. Déjame que te lo pregunte de esta forma: sabíamos, de alguna manera, que la actividad sexual de la mujer está regulada por la fase del ciclo menstrual; pero tú dices que no sólo es así, sino que estas mujeres elegirán una cara u otra dependiendo de algo que tú denominas el cociente digital (de dedo).

V.J. Sí, es así, y recientemente hemos descubierto que las mujeres cambian sus preferencias durante el periodo del ciclo en el que hay un riesgo mayor de embarazo, justo antes de ovular. ¿En qué dirección se produce el cambio? Depende de en qué medida el cerebro haya sido afectado por la testosterona presente en el útero.

E.P. En los años fetales.



Nuestras manos son testimonio de los flujos hormonales en la etapa fetal. La medida de los dedos anular e índice es un indicador del grado de exposición a la testosterona del feto. Una mayor exposición a la testosterona se refleja en un dedo anular más largo que el índice (imagen de la izquierda), una menor exposición a la testosterona se refleja en unos dedos anular e índice más igualados.

V.J. Muy al principio, alrededor de la decimotercera semana de la vida embriológica. Y es posible determinarlo midiendo sus dedos. El dedo anular crece más en los hombres cuanto mayor sea la cantidad de testosterona a la que se esté expuesto en el útero. Y esto hace que se sea, de alguna manera, menos femenino. Las mujeres con el dedo anular largo se sienten atraídas, cuando existe un alto riesgo de embarazo, por hombres más masculinos, hombres de barbilla cuadrada y prominente. No es más que una búsqueda de hombres con buenos genes. En cambio, las mujeres más femeninas, con el anular netamente más corto, van en la dirección contraria: cuando hay un alto riesgo de embarazo, buscan hombres más amables, más cariñosos.

E.P. Tú dices que el cociente digital en las mujeres es de uno o mayor que uno; es decir la longitud del dedo índice y anular son iguales. Y esto está fijado genéticamente.

V.J. No sólo genéticamente, depende más bien de la testosterona presente en el útero a una edad muy temprana.

E.P. ¿Y de qué manera influye esto en la elección por parte de la mujer de un determinado tipo de rostro durante el ciclo menstrual?

V.J. Las mujeres que han estado expuestas a más altos niveles de testosterona tienen un cociente digital típicamente masculino: un anular más largo. Estas mujeres tienden a preferir a hombres muy masculinos. Quieren hombres masculinos tanto para los encuentros esporádicos como para los más duraderos, y cuando existe un alto riesgo de embarazo, todavía se decantan más por hombres muy masculinos. De modo que las mujeres, que hasta cierto punto se han masculinizado a causa de la testosterona en el útero, muestran estas preferencias durante toda su vida. Por el contrario, las mujeres que tienen un cociente digital más femenino pueden preferir hombres masculinos para relaciones cortas, pero cuando se proponen una relación más duradera, o cuando hay un alto riesgo de embarazo, prefieren a un hombre más lánguido, más amable: no el típico macho, sino alguien que esté más cerca del tipo medio.

E.P. Victor, ¿algún día esto nos dará alguna clave acerca del comportamiento sexual? Estoy pensando en los bisexuales frente a los heterosexuales, por ejemplo.

V.J. Es un tema muy controvertido. Existen muchos estudios que muestran diferencias entre el cerebro del hombre y el de la mujer, como consecuencia de la exposición a la testosterona en el útero. Los cerebros de los homosexuales están a medio camino entre el cerebro de la mujer y el del hombre. De manera que estamos empezando a comprender cómo influye este entorno hormonal en nuestra estructura cerebral y, probablemente, en las preferencias sexuales que mostramos a lo largo de nuestra vida.

E.P. Algunos psicólogos evolucionistas alegan que el cociente digital quizá simplemente guarda relación con la selección natural, en la medida que un dedo anular más largo ayuda a estabilizar el dedo corazón, y así se puede tener mayor control, por ejemplo, sobre las piedras o las flechas para disparar. Es una hipótesis.

V.J. Existen cada vez más pruebas de que este cociente digital está relacionado con factores como el recuento de esperma, por ejemplo: en los hombres que tienen un anular más largo (un cociente digital más pequeño), el recuento de esperma es mayor. También está relacionado con la capacidad atlética: especialmente de los corredores; casi se puede predecir quién ganará una carrera observando el cociente digital. Se ha comprobado en un programa de la BBC: un investigador que sabía interpretar el cociente digital fue capaz de señalar, antes de empezar, quién iba a ganar una carrera. De manera que el crecimiento de este cociente digital guarda relación con muchas características masculinas. Por tanto, creo que es mucho más significativo que un simple factor de estabilización para la mano que ha de lanzar objetos: hay algo fundamental relacionado con el cociente digital, y se manifiesta en muchos comportamientos diferentes.

E.P. Es fascinante que la belleza esté tan predeterminada. Por ejemplo —corrígeme si me equivoco—, a la gente no suelen gustarle los hombres gordos y bajos: tienden a preferir hombres delgados y altos, de piernas

largas. ¿Es cierto que es fruto del hecho de que en el pasado fuimos corredores en un clima tropical, donde la relación entre la piel y la masa corporal tenía que ser bastante ligera?

V.J. Creo que es, en parte, verdad. La testosterona es la causa del crecimiento en la pubertad, cuando nos hacemos más altos. Por tanto, la altura siempre es un índice de la exposición a elevados niveles de testosterona. Tienden a gustarnos los hombres altos, guapos y de tez morena: hay razones fisiológicas que hacen que sean probablemente buenos compañeros.

E.P. ¿Y el color? Ser moreno o negro…

V.J. En la mayoría de sociedades gusta más un tono de piel más pálido que el color medio. Puede que sea un índice de utilidad. Tendemos a asociar el color oscuro de la piel con la edad y hay quien prefiere un color más pálido porque piensa que de alguna manera corresponde a una persona más joven. Yo no tengo la respuesta.

E.P. Y en términos de selección natural, se dice que una tez pálida ayuda a absorber la luz del Sol, y así se tiene más vitamina D. Parece razonable.

V.J. Sí, esto es cierto. A medida que vamos subiendo de latitud hacia el norte hallamos pieles más pálidas, probablemente, para poder absorber más luz solar y aumentar la producción de vitamina D.

E.P. ¿Hacia dónde apuntan tus investigaciones?

V.J. Creo que estamos demostrando que las influencias hormonales que se producen a una edad muy temprana de la vida cambian la estructura de nuestro cerebro. Y aquí se da una diferencia fundamental entre hombres y mujeres: hay una diferencia en la estructura del cerebro fruto de las influencias hormonales, pero lo que es fascinante es que estos cambios hormonales influyen en la elección de la pareja también en una etapa posterior de la vida; y creo que ésta es la dirección hacia la que se encamina nuestra investigación: intentar entender por qué sucede esto y detectar ciertas pistas hormonales que son atractivas, como una función que sucedió en un pasado remoto en el útero.

E.P. En el útero… ¿y qué sucederá, o qué está sucediendo, cuando en realidad a través de la cosmética, la moda o las terapias de la cirugía estética se pueden cambiar estas señales que son el producto final de la liberación hormonal: el pelo, los labios, la distancia de los ojos…? ¿Se precipitará un cambio social o las dos cosas son compatibles?

V.J. Cada cultura tiene su prototipo de belleza y constatamos que, históricamente, en todas las culturas estudiadas, la gente ha intentado cambiar su apariencia para parecer más atractiva, de manera que no es nada nuevo, simplemente que ahora se hace mejor. Podemos manipular las caras y los cuerpos mucho más que antes, pero no deja de ser parte de un viejo patrón que los humanos seguimos desde que existe la historia escrita. Siempre hemos manipulado nuestra apariencia para parecer más atractivos de lo que en realidad somos, de manera que llevamos mucho tiempo engañando a la madre naturaleza. Simplemente, ya no lo necesitamos. Mientras que en el pasado era un índice de fertilidad, ahora ya no es tan necesario, porque podemos manipular perfectamente la fertilidad con fármacos…

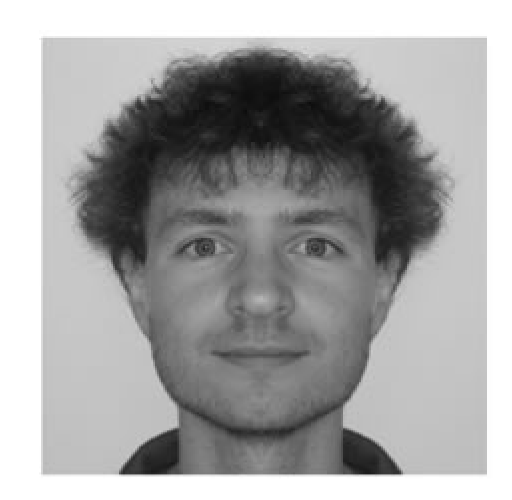
E.P. Pero seguimos buscando las señales de fertilidad.

V.J. Sí, todavía sentimos una atracción, aunque ya no son necesarias. Me imagino que seguiremos en la misma línea de cambiar nuestra apariencia física durante muchísimo tiempo.

E.P. Otro aspecto que me fascina es la simetría como marcador de belleza. ¿Qué tiene que ver la simetría con la fertilidad? Y, sin embargo, está demostrado que nos sentimos atraídos por la simetría.







Preferimos los rostros simétricos. La fotografía superior reproduce un rostro tal cual es. En las inferiores se ha creado un rostro simétrico, proyectando el lado derecho sobre el izquierdo (fotografía de la izquierda) y el lado izquierdo sobre el derecho (fotografía de la derecha).

V.J. Lo que importa no es la simetría. Si medimos diferentes partes del cuerpo en el lado derecho o izquierdo, como los brazos, las piernas y la cara, podemos constatar cuán asimétrica es una persona. La simetría es un indicador del sistema inmunológico muy sensible en todas las especies. Cuantas menos asimetrías se encuentren, mejor es el sistema inmunológico. Parece como si se naciera con un sistema inmunológico perfecto y a lo largo del desarrollo la simetría se expusiera a parásitos, virus y bacterias. Es un plan biológico: si la simetría se pierde es quizás una señal de que el sistema inmunológico no es bueno. De ahí que se sienta preferencia hacia personas más simétricas, porque es un

indicador del sistema inmunológico. Y estos marcadores hormonales —por ejemplo los de la cara del hombre: una mandíbula inferior grande— se corresponden con baja asimetría fluctuante. En otras palabras, estos hombres que tienen grandes mandíbulas inferiores también son más simétricos y tienen buenos sistemas inmunológicos y ésta es una de las razones por las que resultan atractivos.

E.P. Hay otro misterio casi tan profundo como el de la simetría, la cuestión de las feromonas o perfumes. Me han dicho que las especies que han desarrollado la percepción del color pueden olvidarse de la percepción de las feromonas o los perfumes. De acuerdo con esta hipótesis, es por esta razón que nosotros —que nos hemos desarrollado como primates sociales y por tanto con capacidad de ver los colores— no necesitamos percibir los olores. ¿Es verdad? ¿Lo has estudiado?

V.J. No creo que la industria de la perfumería esté de acuerdo contigo. Si se piensa bien, es muy extraño que los humanos perdieran el pelo de todo el cuerpo pero lo mantuvieran, en cambio, en la cara. Cuando alcanzan la pubertad, los hombres desarrollan la barba y el bigote. Al mismo tiempo, si se observa la cara del hombre en la pubertad, aparece el acné, que consiste en que unas grandes glándulas se abren y segregan productos químicos que abarcan un área muy amplia de la barba y el bigote, una zona muy grande, lo cual es bueno para diseminar olores. Cuando nos besamos, juntamos las bocas, y esta barba y bigote quedan justo debajo de la nariz de la persona que besamos. Aquí se puede argüir circunstancialmente que todavía usamos estas feromonas y producimos productos químicos que influyen en el otro sexo. Éste es un campo que todavía no se conoce bien, pero hay ciertos productos químicos que segregamos en nuestras glándulas, como el androstenol, que sólo pueden ser percibidos por las mujeres en ciertos momentos del ciclo menstrual; de modo que aquí se produce un cierto tipo deinfluencia química. Y aunque debo admitir que las pruebas son todavía débiles, no descartaría la posibilidad de que los seres humanos estemos usando todavía, como las hormigas, las feromonas como parte de nuestro sistema de excitación.

Batir al unísono

Steven Strogatz

«Hemos supuesto que todos los sistemas necesitan un liderazgo, que siempre necesitamos una comandancia interior centralizada, y esto no es cierto. Y muchos sistemas funcionarían mejor si se les permitiera organizarse a sí mismos.»

Steven Strogatz es el científico moderno que podría dar más respuestas al hombre de la calle, si gran parte de la comunidad científica no le confundiera haciéndole creer que no se deben formular las preguntas que realmente interesan a la gente. Detrás de frases tan enigmáticas como «sistemas de autogobierno que ejecutan transiciones de fase» —la jerga académica al uso—, se esconde la búsqueda de por qué tienden a sincronizarse los ciclos menstruales de un grupo de mujeres que trabajan en el mismo despacho, del choque que se produce en la célula que súbitamente opta por ser cancerígena, del estallido de la Bolsa, de la aparición de la conciencia en el cerebro, del batir sincronizado de las células en el corazón, o del empeño de las moléculas del vodka olvidado demasiado tiempo en la nevera en seguir bloqueadas unas con otras en forma de hielo, negándose a fluir por el cuello de la botella hacia la copa.

EDUARDO PUNSET: ¿Sabemos, en realidad, qué sucede en cada uno de estos casos?

STEVEN STROGATZ: Son algunas de las preguntas más interesantes de la ciencia actual. Y en casi ningún caso lo comprendemos por completo. Para apuntar algunos ejemplos más, mencionaré la estabilidad de los sistemas ecológicos de muchas especies, y los organismos que se alimentan unos de otros e interactúan y coperan. Estamos empezando a aprender ciertas cosas: hemos hallado parecidos en todos estos sistemas ya que, por ejemplo, todos están compuestos

de muchos individuos que interactúan siguiendo unas reglas muy simples, pero de la combinación de todos los individuos surge una complejidad increíble y esos milagros de los que has hablado.

E.P. Vamos a hablar de un milagro que mencionas varias veces en tu libro *SINC: Cómo emerge el orden del caos en el Universo, la naturaleza y la vida cotidiana*: las luciérnagas de Tailandia… Ahí tenemos varios cientos de luciérnagas que de repente emiten luz todas a la vez, en el mismo instante, aunque no sabemos cómo se comunican entre ellas. ¿O es cierto que es una cuestión de competencia sexual, y que son los machos los que intentan sorprender a las hembras siendo los primeros en emitir destellos de luz? ¿Cómo demonios lo hacen todos a la vez?

S.S. Sí, creo que éste es uno de los pocos casos que entendemos relativamente bien. Como tú has dicho, son sólo las luciérnagas macho las que participan en este fenómeno espectacular. Para detallar el fenómeno explicaré que en los ríos de Tailandia que llevan al mar, miles de luciérnagas machos están en las hojas de los árboles, y por la noche, al ponerse el Sol, comienzan a verse al dejar de competir con el Sol. Y al principio están completamente desordenadas, emiten luz de forma aleatoria, sin estar coordinadas, como el público que aplaude al final de una interpretación en Estados Unidos. Aquí somos tan independientes que estamos completamente desorganizados y ni siquiera intentamos lo contrario. En cambio, en países como Hungría y Rumania, y quizás en España, la expectativa cultural es que se aplauda a la vez, al unísono. Pero al fin y al cabo somos seres humanos inteligentes y podemos hacerlo; lo fantástico es que las luciérnagas, que no son particularmente inteligentes, puedan producir una versión visual parecida. Lo que sucede con las luciérnagas es que al principio están un poco desorganizadas y luego, en pequeños grupos de dos, tres o cuatro comienzan a emitir luz y, al cabo de una hora —no es instantáneo—, un kilómetro y medio de la orilla del río se cubre de árboles con estos insectos que emiten luz a la vez. Y lo entendemos porque una luciérnaga no sólo emite luz, sino que también puede ver. Así, su sistema nervioso se ajusta de manera inconsciente: cuando recibe un destello puede incrementar o retrasar su controlador interno

de los destellos, de manera que comienza a hacerlo en armonía con sus compañeros. En realidad no sabemos por qué lo hacen. ¿Quieres que hablemos de las motivaciones?

E.P. Sería muy interesante saber por qué. Pero finalmente todos aplauden al mismo tiempo, como se hace en Hungría. Existe otro ejemplo fascinante en nuestro interior, el reloj biológico. Estos reflejos circadianos que hacen que nos despertemos o durmamos más o menos a la misma hora. Este ciclo circadiano ¿está en el cerebro o está en las células?

S.S. Es una pregunta fantástica. Tenemos unos ciclos circadianos de los que todos somos conscientes. Es posible despertarse cada día a la misma hora sin necesidad de utilizar el despertador, porque hay algo en el cuerpo que nos dice la hora que es. La pregunta es: ¿dónde está? Yo diría que en cada célula del cuerpo. Cada célula del cuerpo tiene unos ciclos bioquímicos que la mantienen en sincronización con el mundo que nos rodea las veinticuatro horas. Hay un reloj maestro, como has indicado, que está en el cerebro, en un emplazamiento muy interesante. Tenemos los dos ojos, que están en contacto con el mundo exterior y la vida. Dentro de los ojos tenemos los nervios ópticos que conectan con el cerebro y se encuentran para hacer esta conexión con el cerebro. En este cruce, donde se encuentran los dos nervios, hay un grupo de miles de células, muy en el interior del cerebro, en el hipotálamo, y a estas células se las llama el núcleo supraquiasmático. Explicaré la etimología de la palabra: procede del latín *supra*, que significa sobre, y de *quiasma*, el quiasma óptico, que es donde los nervios ópticos se cruzan. Cada célula es como un pequeño reloj eléctrico que se mantiene como en una placa de Petri con sus nutrientes particulares, y cada célula tiene un ritmo de voltaje que sube y baja en un ciclo de veinticuatro horas. No necesita el resto del cerebro o del cuerpo. Son unos relojitos que están situados en el interior de nuestra cabeza.

E.P. Es increíble, pero entonces, ¿por qué los bebés — todos los padres lo han vivido— no saben cuándo despertarse y dormirse?

S.S. No lo sé. Muchos padres se dan cuenta de que después de tres meses los bebés comienzan a sincronizarse con el ciclo del día y la noche. Y no estoy seguro de lo que sucede en esos tres primeros meses, quizás es que las células no son capaces de comunicarse entre ellas correctamente, es posible que las sinapsis se estén desarrollando en el cerebro. Sabemos que el cerebro en esa época del crecimiento del niño se está desarrollando. Y no sólo eso, sino que parte de las conexiones entre las neuronas se están cortando. Existe este proceso tan interesante, que sucede durante este desarrollo, de cortar o podar las conexiones neuronales. Es como si los bebés tuvieran demasiadas conexiones y fuera necesario cortar las que no son buenas. Es decir, que no sé la respuesta correcta, y quizá no la haya. Pero algo debe suceder en el cerebro del bebé que le permite después de varios meses de vida sincronizarse… aunque en realidad no sabemos por qué sucede.

E.P. Lo que has explicado parece razonable. Es probable que las células necesiten un cierto tiempo para ajustar este sistema de comunicaciones entre ellas. En los ciclos circadianos existen las famosas zonas que tú llamas zonas zombis. Viví tres años en Haití y sé cosas de los zombis, pero no conocía estas zonas zombis en nuestro ciclo circadiano. Steve, corrígeme si me equivoco, pero entre las tres y las cinco de la madrugada no deberíamos estar despiertos, porque si lo estamos las neuronas se resienten y si nos empeñamos en mantenerlas alerta y en funcionamiento, pueden ocurrir desastres, como el de Chernobyl, el del *Exon Valdez* o la tragedia de Bopal en la India. Estas desgracias ocurrieron en la franja zombi del horario, ¿verdad?

S.S. Sí, es así. Como has dicho, la zona zombi es una zona peligrosa, es un periodo de tiempo particularmente delicado en el ciclo circadiano, en el que muchas de las funciones biológicas están en su peor momento. De manera que nuestro ciclo de vigilia alcanza su punto más bajo alrededor de esta hora. El motivo por el que lo denominamos zombi, es porque al tener que estar despierto toda la noche uno es consciente de ello: se siente cansado, los ojos están llorosos y te aletargas. En realidad es por la función del reloj biológico en el cerebro. Y todos

hemos experimentado que si nos quedamos sin dormir un poco más y comienza a amanecer, empezamos a despertar, aunque no se vea la luz. Por ejemplo, si eres una persona que trabaja con ordenadores y te quedas una noche en vela para terminar un proyecto, no hace falta ver la luz que empieza a entrar… sientes que estás despertando, como si te levantaras de una segunda siesta. Esta segunda siesta es el producto de nuestra biología, y es cuando el cuerpo comienza a despertarse. Existe una hormona llamada cortisol, que segrega la glándula adrenal, que es la hormona del estrés del cuerpo. Es la que nos prepara para las actividades diurnas, para las batallas que tendremos que librar durante el día. Al final de esta zona zombi comienza a segregarse esta hormona, la temperatura del cuerpo comienza a ascender del mínimo y muchas funciones del cuerpo empiezan a conectarse y el cuerpo comienza a despertarse. Pero como he dicho, antes de este momento las funciones básicas están en el punto mínimo. Si se es piloto y se está pilotando un avión en esa franja horaria, se puede estar no suficientemente ajustado, o si se es controlador en una central nuclear y se empieza a trabajar en el turno de noche… éste es el momento en el que pueden ocurrir accidentes más graves.

E.P. ¿Qué consejo podríamos dar a las personas que tienen que trabajar en la zona zombi, hacia las tres de la madrugada… y a los jóvenes que van a la discoteca y se sorprenden de que a las seis de la madrugada sienten que despiertan? Si se acuestan a las siete o las ocho de la mañana, creyendo que podrán conciliar el sueño durante ocho horas, se equivocan porque al cabo de pocas horas se despertarán por culpa del cortisol del que hablabas antes, ¿verdad?

S.S. Así es. Si se está despierto toda la noche y al llegar a casa se quiere dormir, será difícil. Se puede creer que es a causa de la excitación de la juerga, y puede que en parte sea así, pero también es porque el despertador interno del cuerpo comienza a llamar: la temperatura del cuerpo se eleva, se segrega cortisol y se empiezan a producir otras hormonas. En otras palabras, el cerebro comienza a despertarse. Es un gran problema para las personas que trabajan de noche, ya que cuando llegan a casa después de haber trabajado necesitan dormir porque es su

única ocasión para hacerlo, pero muy a menudo no pueden por culpa del ruido del tráfico, de los niños o de la luz que entra en la habitación. Se supone que estos factores son los que impiden dormir, pero incluso en condiciones ideales el cuerpo no podría dormir a esa hora. En cambio, quiero dar un consejo muy diferente a las personas que viajan por las distintas zonas horarias y sufren *jet-lag*. Cada persona lo experimenta de forma diferente: hay quien dice que nunca padece *jet-lag* porque duerme en el avión y al llegar está descansada. Estas personas creen que el *jet-lag* es un fenómeno de carencia de sueño, pero no es así. El *jet-lag* se produce cuando el marcapasos circadiano del cuerpo, el reloj interno, se ha quedado en la zona horaria anterior. Es decir que, por ejemplo, si viajo a España desde Estados Unidos, mi zona zombi se producirá en el momento en el que estoy haciendo algo, por ejemplo, en medio de una reunión, y es un problema. A eso se le llama *jet-lag*.

E.P. Hay quien dice que si se toma algún fármaco se lleva mejor. ¿Es cierto?

S.S. No lo sé. Hay gente que jura que ayuda, pero no lo sé. Mi impresión es que este campo de la ciencia es emergente, y yo tomaría todo tipo de precauciones antes de tomar un fármaco, como por ejemplo la melatonina, que es el más popular. Los estudios que se han realizado sobre la melatonina producida naturalmente demuestran que el cerebro la segrega en cantidades diminutas: una trillonésima de gramo de melatonina estará activa y afectará al cerebro. Es una hormona cerebral y yo la tomaría con mucha precaución. Sin saber lo que se está haciendo, para mí no tiene sentido. Creo que es más importante exponerse a la luz del día. La luz solar es lo que vuelve a configurar el reloj biológico, de manera que si yo tuviera que hacer este viaje a España, lo que haría es adaptarme al horario español inmediatamente. Saldría a desayunar y a dar un paseo por el parque por las mañanas. Y por las noches, no me quedaría despierto mucho tiempo, aunque no me sintiera cansado. Me acostaría a una hora razonable en esa zona horaria. De manera que para reconfigurar el reloj interno lo mejor es exponerse a la luz solar; da buenos resultados muy rápido.

E.P. Mejor que la melatonina. Existe otro caso fantástico, al que tú llamas el nódulo sinoatrial de nuestro corazón, el marcapasos que mantiene los latidos regulares. Parece ser que también éste es un proceso localizado en un espacio diminuto: son unas diez mil neuronas que se ponen de acuerdo en el momento en que deben latir. ¿Cómo funciona? ¿Cómo lo hacen? ¿No es también un milagro? ¿Se sabe algo?

S.S. Sí, es un pequeño milagro del que sabemos muy poco. Es el milagro que nos mantiene vivos. Cada latido de tu corazón es el resultado del trabajo de estas células, cuya función es la de enviar una señal eléctrica al resto del corazón, a los ventrículos, que son las cámaras de bombeo del corazón. Estas células marcapasos tienen un papel muy importante. Si no ponen en marcha el corazón con una coordinación perfecta, el resultado es una señal conflictiva, el corazón no sabría qué hacer, la sangre no se bombearía y te morirías rápidamente. De manera que el diseño de la naturaleza es maravilloso. Si hubiera sólo una célula marcapasos, una única célula que fuera la líder, aparentemente sería una solución simple, pero no sería una solución sólida ya que esa célula podría funcionar erróneamente y morirse y entonces morir tú. La naturaleza ha creado esta especie de solución democrática: hay diez mil responsables de decirle al resto del corazón cuándo tiene que latir; pero, como tú has dicho, entre ellas no existe un líder. Ellas necesitan, de alguna manera, a través de un proceso democrático o de autogobierno, llegar al consenso de cuándo dar la orden. Lo hacen en cada latido de tu corazón para unos tres mil millones de latidos durante toda una vida, y nunca cometen un error. De manera que ¿cómo lo hacen? Están en constante comunicación entre ellas y cuando dan la orden — cuando la señal de voltaje sube y baja— envían corrientes eléctricas —iones— a través de conexiones eléctricas llamadas *gap junctions*, que conectan a todas las células juntas. De manera que, a través de este intercambio constante de electricidad, están en comunicación, lo que es suficiente para que las más lentas se den prisa y las más rápidas disminuyan la velocidad y se regulen automáticamente. O sea que, si alguna muere, no pasa nada porque el grupo sigue funcionando perfectamente.

E.P. Quedarían las nueve mil novecientas noventa y nueve células restantes para hacer el trabajo. Otro milagro: ¿es cierto que si se encierran cinco o seis mujeres en una habitación tendrán la menstruación a la vez? Parece increíble… ¿Cómo se comunica una mujer con la otra? ¿A través de sustancias químicas o de la mente? ¿Qué es lo que hace que las mujeres sincronicen sus ciclos menstruales?

S.S. Las pruebas dicen que es a través de unas sustancias químicas que todavía no hemos identificado. Parece ser un producto químico que se encuentra en el sudor. Estas pruebas provienen de un estudio realizado a finales de 1970. Una mujer llamada Genoveva observó que cada verano, cuando volvía a casa durante las vacaciones de la universidad, la menstruación de sus hermanas se sincronizaba con la suya. Los médicos que lo estudiaron pensaron que era por… no puedo decir por su olor, porque no desprendía ningún olor, pero había algo que ella producía químicamente y que se transmitía a sus hermanas. Para demostrarlo le pusieron algodones en las axilas y cada día recogían estos apósitos de algodón que contenían sudor, lo trituraban y mezclaban con alcohol. Lo llamaron «esencia de Genoveva», casi como un perfume. Después tomaban pequeñas muestras de esta «esencia de Genoveva» y las ponían en la parte del labio superior, debajo de la nariz, de mujeres que vivían a miles de kilómetros y que no la conocían, no tenían ningún contacto con ella. Estas mujeres eran capaces de, al respirar, oler los productos químicos que había en la secreción del sudor. Y lo increíble pero cierto es que en pocos meses estaban sincronizadas perfectamente con su ciclo menstrual sin haberla conocido nunca. De manera que en su sudor había algo que informaba sobre la emisión de su ciclo menstrual y era suficientemente poderoso como para sincronizar a otras mujeres a las que nunca había visto.

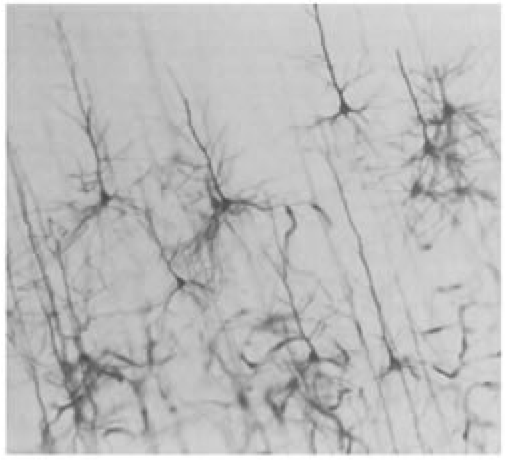
E.P. Parece increíble. Ésta es una pregunta obligatoria: ¿y las modas o las epidemias? ¿Las epidemias causadas por virus, que se propagan de repente, obedecen también a estas leyes de sincronización?

S.S. Es verdad que hay una cierta similitud en la propagación de un virus en una epidemia y, digamos, la propagación de los modelos del tiempo de sincronización de las luciérnagas o de las células del corazón, pero

también hay diferencias. Creo que la propagación del virus se hace de una forma más secuenciada. Primero comienza en un grupo que se infecta y luego la infección crece gradualmente, como si fuera una ola. No existe la misma simultaneidad que sucede en el corazón cuando todas las células emiten una señal a la vez. Esto es más como una ola de propagación pero, por supuesto, es otro ejemplo de organización celular. La sincronía es la cosa más simple, cuando todo sucede al unísono, lo de la propagación en olas es un modelo más complicado en la autoorganización de un grupo. Creo que ésta es la analogía y la diferencia con las modas o las epidemias.

E.P. Veamos. Una pregunta dirigida, más que a ti, al viento. Estamos rodeados de ordenadores conectados en red, enlaces telefónicos, las células enlazadas por productos químicos; tenemos a las empresas y a los consumidores unidos por el mercado. Steve, todavía estoy muy interesado en temas de gestión y cuando analizo tu disciplina mi pregunta inmediata es la siguiente: ¿no te parece que en nuestro entorno hay demasiados sistemas implantados de no autoorganización? Quiero decir: ¿no hay una interferencia excesiva, de orden burocrático, con sistemas que, de otra manera, funcionarían muy bien por su cuenta? Lo podemos observar en corporaciones o grandes instituciones, donde se tiene a docenas de personas que supervisan lo que se hace, cuando, en realidad, lo que hacen es interferir con la innovación y la paz mental de las personas, porque se comportan como si no fueran sistemas autoorganizados.





Todos los sistemas tienden a autoorganizarse. Dos ejemplos de estructuras disipativas, una del mundo mineral: cerusita (imagen de la izquierda), y otra de un organismo vivo: neuronas (imagen de la derecha).

S.S. Es una cuestión muy intrigante. Tu idea es muy atractiva, pero me parece que hay sistemas que necesitan tener gobernantes, líderes. Pero quizá tu pregunta se refiere a que hemos supuesto que todos los sistemas necesitan un liderazgo, que siempre necesitamos una comandancia interior centralizada, y esto no es cierto. Y como tú dices, muchos sistemas funcionarían mejor si se les permitiera organizarse a sí mismos. Es algo que Adam Smith dijo sobre la economía hace muchos años, «que la mano invisible se encargará de la economía si tú te apartas». Aunque, para mí, esto no es un comentario científico, sino un pensamiento filosófico muy interesante.

La verdad es que no sabemos suficiente economía desde un punto de vista científico como para saber si la experiencia nos demuestra que el capitalismo es mejor, o al menos en los países con mercado libre tendemos a pensar que es mejor, pero todavía lo veo científicamente como una pregunta abierta. Es decir, que no podemos hacer experimentos controlados con la economía, y no tenemos una buena comprensión matemática. Seguimos teniendo a personas muy inteligentes que lo intentan, y que van muy bien vestidos y se pasan la vida discutiendo si deberíamos hacer un recorte de impuestos y si ayudaría al crecimiento de la economía. Esto sucede constantemente en Estados Unidos con Bush, que dice que el recorte de impuestos impulsará el crecimiento, mientras otros dicen que causarán tanto déficit que a la larga será peor. Y en realidad nadie lo sabe, ya que hay buenos argumentos para defender ambas posiciones.

Me parece que es una gran oportunidad para la ciencia considerar todas las opiniones, analizar cómo funcionan en realidad estos complejos sistemas interconectados. Por esto estudiamos cosas que pueden parecer ridículas, como las luciérnagas, pero que son lo suficientemente simples como para poder ayudar a progresar en un problema, que tiene esencialmente las mismas características que un problema realmente importante como la economía, el calentamiento

global o la política de muchos países, que están interrelacionadas. Éstas son las cosas que realmente queremos comprender, y estudiando algo que puede parecer irrelevante como las luciérnagas podemos tener una visión desde dentro, un primer paso que nos ayude a comprender estos sistemas tan complejos y con un gran impacto en los asuntos humanos.

E.P. Una última pregunta, Steve: tú, como gran especialista —no conozco a nadie que se haya introducido con tanto detalle en gráficas, redes y sincronización—, cuando sientes una pequeña molestia en el estómago que indica, de modo automático, porque es un proceso autoorganizado, que está en plena digestión, ¿te sientes más seguro de las señales de este proceso automático que con las decisiones que tienes que tomar tú de manera consciente, porque el proceso no está automatizado? Me refiero a decisiones como aceptar un empleo, casarse o viajar. ¿Te sientes mejor con algo que está autoorganizado o con algo que no lo está? ¿O te da igual?

S.S. Me encanta tu pregunta. Si la he entendido bien, tu idea es que el instinto y la intuición son procesos más autoorganizados que los pensamientos conscientes muy elaborados y lógicos. A través de las decisiones importantes de mi vida he aprendido que es mejor fiarse del corazón. Es una idea romántica, pero también es muy práctica. Cuando tomamos decisiones con el corazón o el estómago, son siempre mejores, no sé por qué. Quizás es porque cuando tomamos estas decisiones es porque hay un grado mayor de… estoy perdido, no encuentro las palabras. Creo que todo el mundo sabe que esto es cierto y que cuando se toman decisiones hay que escuchar al corazón, porque tiene toda la información importante. Cuando piensas en la posibilidad de abandonar una idea, o al decidir entre ventajas e inconvenientes, o cuando hay buenos motivos en un lado y en el otro, normalmente el corazón lo sabe. No lo sé, ésta es otra buena cuestión para la ciencia. ¿Por qué el corazón y el estómago son mejores tomando decisiones que el cerebro?

Capítulo II

¿Existe el Universo?

EUGENE CHUDNOVSKY

SHELDON LEE GLASHOW

Eugene Chudnovsky, profesor de Física en la Universidad de Nueva York, donde estudia los efectos cuánticos macroscópicos en imanes y superconductores. En 1988 postuló teóricamente la inversión cuántica de los polos magnéticos y predijo el llamado efecto túnel de los sistemas magnéticos.

Sheldon Lee Glashow recibió el Premio Nobel de Física en 1979, junto a Abdus Salam y Steven Weinberg, por su contribución a la teoría de la unificación de las interacciones débil y electromagnética entre partículas elementales, uno de los pilares del actual Modelo Estándar de la Física de Partículas.

Sobre una nube de electrones

EUGENE CHUDNOVSKY

«Andamos sobre una nube de electrones»

Al régimen estalinista le venía como anillo al dedo el lamarquismo. Según el biólogo francés Lamarck, el conocimiento adquirido, así como los rasgos de carácter y transformaciones desarrollados o impuestos en el curso de una vida, se transmitían a las siguientes generaciones. La transformación del mundo y la creación del nuevo hombre comunista iban a ser indelebles. Se podía evitar la dependencia de las parsimoniosas y aleatorias mutaciones genéticas. O si se quiere, las instrucciones genéticas eran sensibles a las improntas generacionales impulsadas por el régimen comunista. Exactamente lo contrario de lo que era —y sigue siendo— el consenso científico en el mundo occidental.

Durante muchos años, el abanderado de la doctrina oficial en la Unión Soviética fue Lysenko, presidente de la todopoderosa Academia de Ciencias de la URSS. La influencia de Lysenko empezó a resquebrajarse en un famoso Congreso de la Academia, al que también asistía Eugene Chudnovsky. Lysenko dijo en defensa de las tesis oficiales:

—Si tuviéramos la constancia de cortar las orejas de las vaquillas cuando nacen, generación tras generación, al cabo de un tiempo las vacas nacerían sin orejas.

—Profesor Lysenko —preguntó tímidamente un joven científico cuyo rastro se ha perdido, desde el fondo de la sala—, ¿de ser cierto que cortando sistemáticamente, generación tras generación, las orejas de las vacas éstas acabarían naciendo sin orejas, cómo se explica que todas las jóvenes de la Unión Soviética sigan naciendo vírgenes?

A Eugene Chudnovsky le encanta recordar el jolgorio que se armó de inmediato en la sala, el comienzo del fin del prestigio de Lysenko y, con él, del tenor de las tesis oficiales. Como buen científico, Eugene disfruta cuestionando lo establecido y especulando sobre lo que se avecina después.

EDUARDO PUNSET: La percepción que tenemos del mundo exterior ¿es la correcta? Quiero decir ¿refleja cómo es el mundo realmente?

EUGENE CHUDNOVSKY: Creo que refleja el mundo como es y, además, con una gran precisión. Nuestro cerebro, que es el que analiza el mundo, se ha desarrollado durante millones de años de evolución biológica para reflejar el mundo y modelar los procesos de este mundo para que podamos adaptarnos mejor. Por tanto, si no reflejara correctamente el mundo exterior no podríamos modelarlo, ni funcionar adecuadamente.

E.P. Se producirían errores. Algo de esto debe ocurrir con las personas que sufren un trastorno mental.

E.Ch. Efectivamente. Si tomamos el ejemplo de personas que abusan de las drogas, acabarán teniendo una percepción diferente del mundo y no podrán funcionar correctamente.

E.P. ¿Tú ves el Universo exactamente como lo veo yo? El árbol yerto y deshojado tras la ventana de tu despacho…

E.Ch. Creo que sí, puesto que somos personas con una inteligencia comparable. Lo que realmente vemos es una imagen que depende, principalmente, de la habilidad de nuestro cerebro para procesar cierta cantidad de información. Por ejemplo, si comparamos el procesador que llevo en el interior de mi cabeza con el de un halcón, un pájaro volando en el cielo, puede que el halcón tenga un sistema de visión mucho más perfecto que el mío, pero es incapaz de mantener en su cerebro la imagen con los mismos detalles que yo.

E.P. Ni tanto tiempo.

E.Ch. Exacto, ni tanto tiempo simultáneamente. Por tanto la imagen del halcón es, probablemente, aunque todavía no sé cómo demostrarlo, como una gran pantalla gris con un ratón que se mueve en medio.

No he olvidado nunca la imagen del halcón percibiendo un Universo gris surcado por una sola rata que me sugería Eugene: una especie de edredón descolorido y grande como la Plaza Cataluña de Barcelona con un roedor también gris atravesándolo solito de lado a lado. Y he pensado a menudo que el día en que la ciencia derribó la muralla que nos separaba, supuestamente, del resto de los animales, nuestra percepción del mundo podría ser distinta, pero igualmente interesada. Vemos el Universo que nos conviene en función de lo que estime adecuado nuestro cerebro para sobrevivir. Es la estrategia de cocina o de andar por casa a la que se refiere Richard Gregory en el último capítulo de este libro.



Vemos lo que nos interesa ver para sobrevivir.

Parece lógico asumir que todo lo que sabemos lo sabemos a través de la mente: o lo observado entra en la mente, o la mente afecta a nuestra percepción del mundo. Una de las soluciones más bellas al debate continuado entre reduccionistas y antirreduccionistas se la he oído al biólogo Harold Morowitz:

Empezando por la mente postulamos el suelo, las sillas, la mesa; construimos objetos partiendo de ideas. Y para explicar qué es en realidad una silla, podemos estructurar la teoría de los átomos y las moléculas; y para explicar lo que son, en realidad, las moléculas podemos estructurar la teoría de los electrones y protones. Y finalmente podemos ir a los quarks y a la teoría de las cuerdas. Ése es el camino de los reduccionistas. Pero también podemos hacer lo contrario: es decir, partimos de las partículas y nos preguntamos: ¿cómo es posible que los átomos lleguen a crear sustancias vivas? ¿Y cómo es posible que las sustancias vivas lleguen a crear organismos vivos más complejos? Cuando por esta vía se llega a los animales constatamos que han desarrollado otra propiedad, que es la cognición. De manera que, en lugar de ser únicamente el resultado de combinaciones aleatorias de átomos, pueden realizar acciones con una finalidad. Y todo esto nos devuelve a la mente. Es como un círculo. Reductivamente se llega hasta las partículas fundamentales, aunque nunca se llega al verdadero fundamento; y, por otra parte, se llega a recrear la mente mediante la comprensión de las cosas que formaron el origen de la vida y la evolución hasta llegar a la mente.

Morowitz sugiere una manera conciliadora y elegante de cerrar, transitoriamente, el debate entre reduccionistas y antirreduccionistas. Por definición, la solución definitiva del misterio de los misterios sólo puede llegar cuando se sepa a ciencia cierta no sólo cuándo empezó el Universo inflacionario —eso ahora ya se sabe—, sino cómo y por qué.

E.P. ¿Crees que podemos mantener la pretensión de saber o de modificar, lo que vendrá después de nosotros en la escalera de la evolución? Quiero decir: ¿crees que tendremos alguna influencia en lo que sucederá después de nosotros?

E.Ch. Creo que tenemos una influencia muy limitada. Como humanos sólo decidimos el futuro de la evolución tecnológica, podemos incluso prevenir que esta evolución vaya en un sentido perjudicial, si bien, hasta cierto punto, somos incapaces de evitar, por ejemplo, los actos terroristas, aunque lo intentemos. Sin embargo, no creo que realmente

tengamos la posibilidad de prevenir la aparición de nuevas especies fruto de la revolución tecnológica; estas especies son comparables a las especies biológicas evolucionadas. Las nuevas especies de que estoy hablando son los ordenadores que, sin duda, en un futuro próximo, procesarán la información más rápidamente que nosotros y adquirirán capacidades…

E.P. ¿Pero tú crees en los cyborgs, en estos híbridos mitad máquina, mitad organismo?

E.Ch. Claro que creo en los cyborgs.

E.P. ¿Y en la posibilidad de que se reproduzcan?

E.Ch. No sé si el futuro de la evolución está o no en los cyborgs. Es imposible predecirlo. Una cosa de la que estoy seguro es de que no estamos bien construidos, quiero decir físicamente, para afrontar los próximos pasos de la evolución de la vida, como viajar al espacio y explorar planetas. Necesitamos un entorno, temperatura, presión y sustancias químicas determinadas para sobrevivir. Nuestra piel es increíblemente vulnerable. También estamos muy expuestos a la polución, porque nuestros cuerpos están hechos, mayoritariamente, con elementos de la primera mitad de la tabla periódica. Más aún, con la tecnología estamos contaminando el entorno porque los bienes tecnológicos se fabrican, sobre todo, con elementos de la segunda parte del sistema periódico, que son más pesados.

E.P. Has mencionado la temperatura…

E.Ch. La temperatura es importante porque sólo podemos vivir en una franja muy estrecha, a diferencia de los robots del futuro, que no tendrán casi ninguna de esas limitaciones: podrán ir al espacio sin trajes protectores, multiplicarse en planetas o naves espaciales, y conquistar el Universo.

E.P. Cuando hablas del espacio pienso en el vacío que nos envuelve, incluso dentro de nosotros mismos. Nuestras moléculas están hechas de átomos, y en torno al núcleo de esos átomos giran electrones a distancias considerables si las ponderamos por su tamaño. Se sostienen en el aire. ¿Qué estado de cosas es ése? Quiero decir, ¿son estables los

átomos?, o mejor dicho, ¿son estables los electrones que orbitan alrededor de los átomos? ¿Quién me dice que se mantendrán siempre así?

E.Ch. Los electrones se mantendrán. Al contrario de los satélites que giran alrededor de la Tierra, ya que la física de los satélites es la física clásica: a causa de la fricción —siempre queda algo de aire en las órbitas en que se mueven—, con el tiempo, acabarán cayendo. Pero los electrones no caerán sobre sus núcleos porque su movimiento es diferente y se explica por la física cuántica, que no es nada fácil de comprender en los términos clásicos a los que estamos acostumbrados. Es cierto que los electrones, los núcleos, y los átomos existen en el espacio vacío. Si hablamos de gas, como el aire que hay en esta habitación, la distancia entre las moléculas es unas diez veces el tamaño de un átomo. Por lo tanto hay mucho más espacio vacío en el gas que en la materia.

E.P. Que en los sólidos.

E.Ch. Correcto. Si vas al espacio, la distancia entre partículas como los electrones puede que sea de un metro. Por lo tanto, la mayor parte del espacio está vacío. De todas formas no hago referencia a lo que llamamos la materia oscura, porque no sabemos dónde se encuentra. Quizá la materia oscura esté en todas partes ocupando todo el espacio. Quizá no esté compuesta de partículas. Hoy día los físicos consideran que la materia no está compuesta sólo de partículas. En el pasado, digamos hace veinte años, se decía que todo estaba formado por partículas puntuales, una especie de partículas muy pequeñas, podríamos decir esféricas. Pero ahora sabemos que hay objetos que no están formados por átomos y pueden ser objetos muy extensos como las cuerdas…

E.P. ¿Cuerdas?

E.Ch. Sí, cuerdas. Son soluciones de ecuaciones matemáticas que se desprenden de la llamada teoría del todo. Estas cuerdas pueden ser objetos muy grandes comparables al tamaño de una estrella o una galaxia. Pero no están hechas de átomos.

E.P. ¿Son vibraciones?

E.Ch. Bueno, es cierto que pueden vibrar y se puede pensar, por ejemplo, en las cuerdas de un instrumento musical como una guitarra. Son fuerzas cerradas, como un aro cerrado. Es posible que estos aros cerrados, las cuerdas, que quizá son muy pesadas, estén ahí fuera en el espacio. No hemos descubierto todavía ninguna, pero son soluciones de ecuaciones matemáticas y podrían estar allí. Contrariamente a las cuerdas de un instrumento musical, las de ahí afuera no están hechas de átomos.

E.P. De algo estarán hechas…

E.Ch. Son materia continua que forma una cuerda sin espacio vacío entre las partículas. Sólo materia continua.

E.P. Debemos repensar entonces los distintos estados de la materia que conocíamos. Vamos a ver: los griegos defendían que había aire, tierra, agua y fuego, ¿no? Y los físicos como tú dicen ahora que hay gases, líquidos, sólidos y plasma. Luego hablaremos del plasma. Nos parecía normal que un descenso de temperatura provocara un cambio en el estado de la materia de líquido a sólido, por ejemplo. Las cosas se han complicado algo desde que los defensores de las teorías de la complejidad y el caos como Steven Strogatz o Albert-Laszlo Barabasi han descubierto que lo que parecía muy normal, como de andar por casa —me refiero al paso del agua líquida al estado sólido del hielo— es, en realidad, una transición de fase que se produce en los sistemas autoorganizativos. Y que todavía no sabemos explicar muy bien los mecanismos en virtud de los cuales las moléculas de agua renuncian de pronto a su vida individual para formar un colectivo compacto e inamovible como el hielo. Desde luego, es fascinante pensar en unas moléculas de vapor de agua que se mueven independientemente, entrechocando las unas con las otras; y en las mismas moléculas que, en su estado líquido, se juntan aleatoria y promiscuamente —como si se dieran la mano, nada más—. Y finalmente, las mismas moléculas deciden no sólo darse la mano, sino agarrarse las unas a las otras de forma indisoluble como si mediara un rito sagrado de entrega mutua. Y por si fuera poco, ahora me dices que más de un noventa y nueve

por ciento del Universo es plasma. El ciudadano de a pie no sabe realmente lo que es el plasma. Quiero decir: entendemos lo que son gases, líquidos y sólidos, pero plasma… ¿qué es el plasma?

E.Ch. Sabemos muy bien qué es el plasma: es un estado de la materia en el que las partículas no se acoplan unas con otras sino que existen como objetos individuales. Por este motivo, el estado de la materia denominado plasma existe a temperaturas elevadísimas, a miles o quizá millones de grados. A estas temperaturas los átomos se rompen y se obtienen partículas elementales individuales que se encuentran libres en el espacio. Eso es el plasma. **E.P.** Eso es el Sol.

E.Ch. Correcto, es el Sol.

E.P. ¿De qué estamos hechos nosotros?

E.Ch. Es casi seguro que no hay plasma en nuestro interior, pero sí tenemos materia en los demás estados: fluidos, como la sangre, sólidos, como los dientes y gases como el aire que respiramos.

E.P. ¿Hay otros tipos de materia que no conozcamos?

E.Ch. Puede que los haya. Por ejemplo, los físicos están estudiando intensamente, desde hace más de diez años, cierto misterio de la astrofísica, la llamada materia oscura. Los experimentos demuestran que la única manera de explicar las fuerzas gravitatorias y la evolución del Universo —la atracción entre objetos distintos— es asumiendo que la masa del Universo es diez veces mayor de lo que observamos. Por lo tanto, como decía antes, existen sustancias que no podemos ver pero que constituyen la mayor parte del Universo, es la famosa materia oscura. Y no sabemos qué es porque interactúa muy débilmente con otros tipos de materia que sí conocemos.

E.P. ¿Es verdad que andamos sobre una nube de electrones? Quiero decir, cuando chocan dos sólidos —nosotros estrechándonos las manos, por ejemplo—, ¿qué es lo que está estrechando tu mano con la mía, una nube de electrones? ¿Tus átomos y los míos se mantienen separados?

E.Ch. Sí. La manera más sencilla de imaginar un átomo es como electrones que giran alrededor de un núcleo, igual que los satélites giran alrededor de la Tierra. Los electrones tienen carga eléctrica negativa, es decir que repelen a otros electrones. Por tanto cuando nos

estrechamos las manos o tocamos algo, los electrones de mi mano son repelidos por los electrones del otro cuerpo, y es por esta razón que mi mano no puede, realmente, atravesar tu cuerpo, porque se ve rechazada por los otros electrones.

E.P. De lo contrario se nos tragaría el suelo.

E.Ch. Por supuesto.

E.P. Parece increíble, pero estamos diciendo que andamos sobre nubes de electrones. No estamos pegados al suelo, ya que tú dices que si no estuvieran los electrones entre nosotros lo atravesaríamos.

E.Ch. Es absolutamente correcto. Los electrones del suelo repelen los electrones de nuestros zapatos y por esto andamos, como has dicho, sobre una nube de electrones.

E.P. Antes has mencionado las cuerdas, tal vez unas cuerdas muy pesadas en algún lugar del espacio. Pero ¿existe algún parecido entre el mundo de los sólidos de la Tierra y el de las cuerdas?

E.Ch. Es una buena pregunta porque, de hecho, casi toda la física del Universo, de las cuerdas o de lo que haya allá arriba —como los monopoles que son objetos muy extraños—, se describen por las misma leyes matemáticas que los sólidos. Por ejemplo, en los superconductores hay vórtices, y estos vórtices son muy parecidos a las cuerdas cósmicas de que hablábamos antes; utilizamos los mismos modelos matemáticos de manera que al estudiar los superconductores tanto teórica como experimentalmente aprendemos mucho sobre la física de las cuerdas cósmicas. Y éste es sólo uno de muchos ejemplos. Hay cientos de ejemplos más en que los fenómenos que podemos observar en los sólidos se parecen extraordinariamente a los fenómenos que percibimos en el Universo, o a ciertos procesos cosmológicos. Así que estudiando los sólidos se puede descubrir, realmente, el Universo de una forma más barata que construyendo aceleradores enormes de partículas o lanzando naves espaciales.

E.P. Cuando hablamos de sólidos, ¿de qué estamos hablando realmente? ¿De metales, de madera o de nuevos materiales? ¿Podemos crear nuevos materiales?

E.Ch. Nos referimos a todo tipo de sólidos. Y creamos nuevos materiales constantemente combinando elementos distintos a temperaturas y presiones diferentes. Antes de crearlos hacemos simulaciones para tener una idea de lo que obtendremos combinando elementos. Partiendo de la idea y mediante la experimentación, creamos muchos materiales nuevos.

E.P. ¡Qué afortunados somos de tener esta capacidad intelectual de simular, como un piloto simula lo que sucederá en un cielo agitado! Pero cuando decimos que somos capaces de crear materiales nuevos, ¿qué estamos diciendo?, ¿qué podemos crear moléculas que no existían antes? ¿Vida?

E.Ch. Es otra pregunta muy buena. Sin ninguna duda, los biofísicos y bioquímicos crean moléculas nuevas, incluso muy complicadas, pero crear vida nueva, eso no lo puede hacer nadie. Volvamos a tu primera pregunta sobre si lo que vemos en el exterior realmente existe. Sí, vemos realmente lo que hay ahí afuera, pero no deja de ser sorprendente porque vemos el árbol detrás de mi ventana, y esos árboles mueren y vuelven a crecer. En mi opinión, la pregunta más interesante de la ciencia es saber por qué ocurre todo esto, y por qué en los laboratorios de física, biología o química no se puede reproducir ese proceso. No sabemos repetir el proceso de la evolución biológica en el que los átomos y las moléculas se juntan y a partir de un determinado tamaño empiezan a reproducirse. Desde el punto de vista de un físico sigue siendo absolutamente sorprendente lo que vemos en el exterior.



«Los árboles detrás de mi ventana mueren y vuelven a crecer.» Eugene Chudnovsky en su despacho de la Universidad de Brooklyn, en Nueva York, conversando con Eduardo Punset.

E.P. Esto me recuerda una conversación que mantuve con Stanley Miller hace años. Apareció en la portada de las revistas más prestigiosas en los años cincuenta porque obtuvo aminoácidos sintéticos en el laboratorio, los ladrillos de la vida. Le pregunté: «¿Por qué no continuaste creando proteínas y luego vida?». «Pensaba que podría hacerlo la semana siguiente, pero llevo cuarenta años intentándolo y todavía no lo he conseguido», fue su respuesta. Quizá Stanley Miller no reparaba en lo que tú sugieres: que hay algo muy sorprendente en este proceso que se organiza a sí mismo, como si hubiera un objetivo prefijado. ¿Por qué ese árbol crece y crece sin que podamos repetirlo en el laboratorio como no sea germinando su propio secreto impreso en la semilla?

E.Ch. Parece que a lo largo de los últimos tres mil millones de años han aflorado en la Tierra pruebas de que la evolución va en una dirección, en el sentido de que las cosas adquieren mayor complejidad y aumenta el orden en la superficie de la Tierra. Ahora las cosas están muy ordenadas en los árboles, los seres humanos, los animales, los

edificios, las mesas y los libros, mientras que hace tres mil millones de años sólo había gas y sólidos, todo desordenado y caótico. Y ese proceso va en una dirección aunque no podamos explicarlo, ni simularlo en el laboratorio.

E.P. Eugene, por ahora lo dejamos en que, probablemente, el mundo exterior existe…

E.Ch. Es una buena suposición, sobre todo para mí, como físico, ya que de lo contrario estaría en el paro.

En aquella conversación con Chudnovsky en su despacho de la Universidad de Brooklyn, en Nueva York, no nos dio tiempo de intentar descifrar una de las mayores paradojas de la ciencia a la hora de constatar qué está ocurriendo «ahí fuera». El lector habrá notado que la innegable apuesta a favor de un orden creciente de las cosas que nos rodean se da de bruces con otra evidencia innegable como es la enunciada por la llamada segunda ley de la termodinámica: la evolución espontánea de un sistema aislado tiende al desorden, y se traduce siempre en un aumento de su entropía.

—No es cierto —me repitió varias veces antes de su muerte el gran paleontólogo Stephen Jay Gould, en su despacho de la Universidad de Harvard, mitad desván, mitad laboratorio, con un viejo sillón desvencijado en medio— que marchemos hacia algo cada vez más grande y perfecto.

Y cuando el propio Ken Nealson asevera, en su condición de uno de los astrobiólogos más profundos y precisos del planeta, «que la vida es una equivocación», pienso que los dos se mueven bajo el legítimo influjo de la paradoja a la que antes me refería. La evolución espontánea de un sistema aislado se traduce siempre en un aumento de su entropía.

La palabra entropía fue utilizada por Clausius en 1850 para calificar el grado de desorden de un sistema. Por tanto, la segunda ley de la termodinámica dice que los sistemas aislados tienden al desorden.

Los organismos vivos, entre ellos el ser humano, como todo en el Universo, tienden a degradarse, desordenarse, deteriorarse y desaparecer como sistemas de equilibrio dinámico inestable, es decir a aumentar su entropía.

La vida, su mantenimiento, equivale a una merma o inversión de la entropía. Esto se logra por el fenómeno de la homeostasis. La vida es un fenómeno compuesto por sistemas abiertos o continuos, capaces de reducir su entropía interna a expensas, bien de sustratos y sustancias nutrientes, o bien de energía libre que toman de su entorno, devolviéndoselas en forma degradada.

La segunda ley de la termodinámica condena todo sistema a degenerar, decaer, podrirse y morir. Las aceras se fracturan, las casas envejecen, las traducciones consecutivas degeneran el sentido original, las estrellas se apagan.

Brian Swuimme y Thomas Berry propusieron el principio cosmogenético, que hace ver la evolución del Universo de una manera más real, al considerar este principio como un complemento de la segunda ley de la termodinámica. Se refiere a la construcción del orden, al incremento de la complejidad y por lo tanto de la información. Según este principio la segunda ley de la termodinámica es un fenómeno estadístico, por lo que en ciertas condiciones la entropía puede invertirse.

En la teoría de la comunicación o de la información, la entropía es un número que mide la incertidumbre de un mensaje. La entropía es nula cuando la certeza es absoluta. Cuando añadimos información a un objeto físico lo que estamos haciendo es ordenar de una forma determinada los elementos que componen el sistema de ese objeto.

Los sistemas biológicos y económicos no son sistemas aislados ya que ambos reciben el calor del Sol. Por tanto, mientras reciban más energía de la que emiten, los sistemas económicos y biológicos podrán reducir su entropía. En palabras llanas, mientras haya un Sol que caliente, la biomasa podrá aumentar y el producto nacional bruto mundial podrá crecer.

Se puede decir que un ser vivo sano, una empresa o una locomotora funcionando correctamente tienen entropía baja, contienen información. Si aumenta el desorden en los componentes del individuo, la empresa o la máquina, su entropía está aumentando. Hay un cierto umbral, un cierto tamaño de entropía por encima del cual el ser vivo muere, la empresa quiebra y la máquina deja de funcionar.

Los seres vivos, la empresa o la locomotora no son sistemas aislados. Pueden utilizar energía proporcionada por otros sistemas para corregir el desorden, es decir, para disminuir la entropía. A costa de un esfuerzo tan grande, que resulta legítimo afirmar, como dice Ken Nealson, «la vida es una equivocación». Por experiencia se sabe que esa posible intervención tiene un límite. Hasta ahora no se conoce ningún ser vivo, empresa, ni máquina que haya vivido o funcionado eternamente.

Estamos a mitad de camino

Sheldon Lee Glashow

«Por supuesto, por definición, estamos en medio.»

Es lógico que nos hagamos la pregunta de si existe el Universo porque, como me dijo el Premio Nobel de física Sheldon Lee Glashow en el curso de una visita a Barcelona:

> *Somos demasiado grandes para ver lo minúsculo, y demasiado pequeños para ver las galaxias. Siempre nos ha gustado estar en medio. En la antigüedad la Tierra era el centro del Universo y Jerusalén era el centro de la Tierra. También nos gusta pensar que en el mundo de las dimensiones nos encontramos en medio. Lo estamos porque existen cosas cuyo tamaño es millones de veces más pequeño que nosotros: los átomos, los núcleos, los quarks, las supercuerdas, bajando de escala. Pero igual sucede con el mundo de lo grande: ahí están la Tierra, el Sistema Solar, la Via Láctea y por supuesto, miles de millones de galaxias y el Universo en su totalidad. Estamos en el medio. Nos encontramos entre la cosmología, el estudio de lo grande, y la física de partículas, el estudio de las cosas más pequeñas del mundo. Y entre ambos extremos se sitúan las ciencias comunes: la química, la biología, la geología…*

Sheldon Lee Glashow retoma la conversación donde la dejó Eugene Chudnovsky cuando se jactaba de que a él no le hacía falta montarse en naves espaciales para estudiar el Universo, sino que le bastaba profundizar en la física de los estados sólidos.

SHELDON LEE GLASHOW: Hablamos de dos cosas al mismo tiempo: por un lado el Universo y por otro las partículas más pequeñas. Pero hemos descubierto que el estudio de las partículas está muy relacionado con el del Universo concebido como un todo. Lo grande sigue, en la práctica, el mismo conjunto de reglas que lo pequeño. La física fundamental se aplica en todas partes independientemente del tamaño.

Cuadro 1: «Estamos enmedio»

unidades	equivalencia en metros	ejemplos
	10^{-18} metros	diámetro del electrón/quark
femtómetro (fm)	10^{-15} metros	1 fm, radio del protón
picómetro (pm)	10^{-12} metros	pm, distancias atómicas
nanómetro (nm)	10^{-9} metros	0,1 nm, diámetro del átomo de hidrógeno
micrómetro (μm)	10^{-6} metros	100 μm, radio del retrovirus VIH
milimetro (mm)	10^{-3} metros	10 mm, diámetro del glóbulo rojo
metro (m)	**1 metro**	**1,7 m, altura media del hombre**
kilómetro (km)	10^{3} metros	8,846 km, altura del Everest
	10^{6} metros	6.371 km, radio de la Tierra
	10^{9} metros	0,7x10^{6} km, radio del Sol
segundo/luz (s/l)	300.000.000 metros	499 s/l, órbita terrestre
hora/luz (h/l)	1,08x10^{12} metros	10 h/l, radio del Sistema Solar
año/luz (a/l)	9,46x10^{15} metros	4,3 a/l, distancia a la estrella más cercana
		10^{5} a/l, diámetro de la Vía Láctea
pársec (pc)	3,085x10^{16} metros	3-7x10^{9} pc, radio del Universo visible

Cuadro de medidas que permite ver la relación del ser humano con su entorno.

EDUARDO PUNSET. No hay dos físicas, la cosmología por una parte y las partículas fundamentales por otra.

S.L.G. No, pero tenemos dos nombres: la cosmología, que se encarga del Universo como un todo, y la física de partículas, que se ocupa de lo pequeño, pero están relacionadas, siempre lo han estado. Remontémonos a un pasado algo lejano, a la época de Galileo. Era un hombre muy inteligente, pero no siempre tenía razón. Descubrió que cuando había poca agua en una cisterna, a pesar de usar una bomba de vacío, no se conseguía subirla hasta una altura de más de nueve metros. Galileo no lo entendía y atribuyó el misterio al hecho de que

una columna de agua de una altura de nueve metros se rompería, como ocurre con una cadena demasiado larga que no puede aguantar su propio peso. Nunca acabó de entender lo que estaba pasando. Fue su estudiante o colega Torricelli el que resolvió el enigma al comprender que no era la bomba la que permitía elevar el agua, sino la presión atmosférica. Es decir, que es el peso del aire el que determina la altura máxima de un líquido en un recipiente, independientemente de la potencia de la bomba de vacío. Como dijo Torricelli: «Vivimos bajo un océano de aire». Se trata de una afirmación cosmológica del siglo XVII que sostuvo que el aire está aquí abajo y no ahí arriba, pues su grosor disminuye a medida que sube hasta que desaparece. El mundo está rodeado por el vacío. La Tierra está rodeada de aire, de un océano de aire sutil. Y este descubrimiento cosmológico nos permite explicar cosas pequeñas: cómo respiramos, cómo un bebé succiona la leche. Los fenómenos como la naturaleza de la presión son descubrimientos cosmológicos relacionados con las cosas grandes. Y después vino Newton. Todo el mundo conoce a Newton. A Newton se le cayó una manzana en la cabeza y así descubrió las leyes de la mecánica, esto es, las leyes que se aplican tanto a la Tierra como al Cielo. Pero ¿fue la manzana la que explicó cómo se movía la Luna, o fue la observación de la Luna la que explicó cómo se cayó la manzana? ¿Te das cuenta? El mundo de las pequeñas cosas, en este caso la manzana, y el mundo de las grandes, como la Luna, siguen las mismas reglas.

E.P. Cuando pensamos en un biólogo que mira bacterias a través de su microscopio, creemos que se siente seguro porque sabe que está respaldado por la química. Y un químico, a su vez, en su pequeño mundo también confía en su trabajo porque se siente apoyado por la física, por todo lo relativo a los protones, neutrones, electrones y quarks. Pero al físico ¿qué le respalda? ¿De dónde proceden los quarks? **S.L.G.** Tienes razón. Los biólogos trabajan con lo que pueden ver. A veces, son cosas grandes como un elefante, pero a veces se trata de realidades pequeñas como las moléculas o el ADN; a veces son los átomos que componen las moléculas. Pero los átomos establecen los límites en cuanto a tamaño se refiere porque a medida que nos

acercamos a las cosas más pequeñas, los químicos ya no pueden dar explicaciones. Los químicos estudian los átomos como estructuras que constituyen distintas realidades, y son los físicos los que analizan qué hay dentro de las estructuras y cómo funcionan estas estructuras. No obstante, hay varios niveles en la física. Existe la física atómica. ¿Qué hacen los físicos atómicos? Se preocupan por la composición del átomo, por el núcleo y la enorme cantidad de electrones que giran a su alrededor. Y la gente se puede preguntar qué buscan, ¿quieren saber por qué brillan las estrellas?, o ¿qué es la radiactividad? La respuesta a estas preguntas la da otro nivel de la física, conocida como física nuclear. Son aquellos físicos que explican cómo se fabrican sustancias radiactivas para fines médicos, o cómo se fabrican escáneres nucleares que permiten observar el interior del cuerpo humano remotamente; más allá de los ojos desnudos nos descubren la naturaleza de las enfermedades. Ahora bien, estos físicos nucleares no se preguntan qué es un protón o un átomo; no lo cuestionan, simplemente, de la misma manera que los biólogos dan por descontada la existencia de átomos. Después llegan los físicos de partículas que quieren saber lo que hay en el interior de un protón y de un neutrón. Hace treinta años descubrieron que los protones y neutrones están compuestos por dos tipos de quarks, pero existen otras partículas que son extrañas.

E.P. ¿Se comportan de manera diferente?

S.L.G. ¡Son extrañas!

E.P. ¿Será porque algunas de estas partículas pueden estar en lugares distintos al mismo tiempo?

S.L.G. Todas las partículas pueden estar en distintos lugares al mismo tiempo, pero lo extraño de estas partículas no es esto. Bueno, en realidad, no son tan raras; lo que ocurre es que están compuestas por un tercer tipo de quark. ¿Por qué existe el quark extraño? Todavía no tenemos la respuesta. Pero ahora sabemos que no sólo hay tres. En 1974 se descubrió un cuarto tipo de quark, y un quinto en 1976, y un sexto tipo de quark en 1994. Se trata de distintas clases de partículas fundamentales. El misterio radica en saber por qué existen esas diferencias entre las partículas. Con tu pregunta es obvio que al

mencionar yo la palabra extraña pensaste en la física cuántica. Es cierto que la mecánica cuántica es una disciplina muy rara, pero es otro tipo de rareza.

E.P. ¿Dónde encuentra su respaldo la física?

S.L.G. Las ciencias comunes como la biología son muy especializadas. ¿De qué se encarga la biología? Pues de los seres vivos, que según las últimas investigaciones sólo parecen encontrarse en la Tierra. Pero nuestro planeta es uno de entre miles de millones de planetas que pueblan el Universo. Por eso se considera que la biología es una disciplina especializada. El grado de especialización es todavía mayor en la psicología, porque se encarga del estudio de la mente. O tu ciencia, la economía, que es una disciplina muy especializada que se ocupa del dinero. La física, en cambio, lo abarca todo —bueno, ¡no sé si incluso el dinero!—, pero sí todo lo demás. Engloba la química, la biología, la astronomía, la cosmología. Todo se reduce a la física. Todas las ciencias son, en definitiva, física.

E.P. Hablemos de algo que nos toca muy de cerca. Me refiero a esa especie de cuatro criaturas divinas que lo dirigen todo, las llamadas cuatro fuerzas: la gravitación, la electromagnética y las dos interacciones nucleares. Al parecer, las cuatro fuerzas estaban unificadas al comienzo, cuando todo empezó hace doce mil millones de años.

S.L.G. Quizá…

E.P. Quizá, pero lo que es seguro es que ahora son distintas unas de otras, son diferentes. Una está transportada por fotones, otra por protones. ¿De cuándo data la separación de esas fuerzas?

S.L.G. Sólo conocemos una parte de la respuesta. Déjame retomar este argumento, porque cuando yo hablo de cuatro fuerzas, o tú dices que hay cuatro fuerzas, me recuerda un poco a mi profesor de quinto curso cuando decía que había siete continentes.

E.P. ¿No tenía razón?

S.L.G. Yo nunca había oído hablar de Austria. Nunca supe la diferencia entre Austria y Australia, pero mi profesor afirmaba que existían siete continentes. Es un camino equivocado. Creo que hubiéramos debido empezar por conocer esos continentes de verdad; probablemente la

mejor manera de enseñárnoslo habría sido mostrando fotografías de los animales que viven en Australia, de las costumbres de los australianos. Tú, o los ciudadanos en general, no pueden saber lo que quiere decir cuatro fuerzas. La gente sólo conoce dos fuerzas. Lo que quiero decir es que un biólogo, un químico, o el empleado de banca sólo conocen dos fuerzas. Saben que si se tira un objeto, éste se precipita al suelo, porque saben que existe la gravedad.

E.P. Es cierto.

S.L.G. Seguro que saben que existe la fuerza de la gravedad. Todo el mundo lo sabe. Y si van al colegio aprenden que lo que hace que la materia sea materia, que las hojas sean hojas, que las mesas sean mesas, es el electromagnetismo. Todo lo que vemos, oímos o tocamos es electromagnetismo. Ahora mismo, este haz de luz que nos ilumina es también electromagnético. Y no hay más. Tú estás hablando conmigo al tiempo que examinas la radiación electromagnética que emite la superficie de mi cuerpo. Por lo tanto, en cierto modo, la mayor parte de la ciencia y de la vida humana, en general, tienen que ver con la gravedad y el electromagnetismo, que hacen que las cosas funcionen como funcionan, que los átomos se comporten como lo hacen. Pero ¿cuáles son las otras dos interacciones, las otras dos fuerzas? Sólo existen en el interior del núcleo y, normalmente, no se ven. Ya he dicho que el núcleo está compuesto por protones y neutrones unidos, enganchados por una especie de pegamento que constituye la interacción nuclear fuerte, o forma parte de una interacción fuerte. Lo que hace realmente esta fuerza es mantener los quarks unidos para crear protones y neutrones; el que estén unidos sólo tiene que ver con el núcleo, de manera que es bastante irrelevante…

E.P. En la vida diaria…

S.L.G. En la vida diaria nada. Como no sea la energía nuclear de las bombas nucleares, la medicina nuclear, el funcionamiento del Sol o la actividad de las estrellas, que sí tienen que ver con los núcleos atómicos.

E.P. Si lo entiendo bien, la fuerza nuclear débil contribuye a mantener la termocombustión del Sol.

S.L.G. Es cierto.

E.P. Y puesto que es débil, permite al Sol durar miles de años, porque de lo contrario estallaría.

S.L.G. Es interesante porque el Sol constituye un mecanismo fascinante que utiliza las cuatro fuerzas, y no sólo una. Se precisa de la gravedad para que el Sol sea una unidad. En su interior, la presión es muy alta y, por consiguiente, también la temperatura. Hace falta la fuerza electromagnética porque de lo contrario sería como una bomba que estallaría. Es preciso que exista también una interacción fuerte porque sin ella los protones no estarían unidos y no formarían núcleos más complejos. No habría fuente de energía sin la interacción fuerte. Y, como tú has dicho, necesitamos la interacción débil porque permite transformar protones en neutrones. Si no existiese esta fuerza, posiblemente no habría Sol.

E.P. Dices que no habría energía ni vida, por tanto, sin la interacción fuerte que mantiene unidos a los protones. ¿Hay algún peligro de que este edificio pueda desintegrarse algun día?

S.L.G. ¿Quieres decir si todo está bien atado? No tenemos una respuesta a esta pregunta todavía. Casi estamos seguros de que la respuesta sería afirmativa. Creemos que los experimentos llevados a cabo demuestran que los protones viven más tiempo de lo que pensábamos. Los experimentos efectuados en Japón y Estados Unidos indican que no debemos preocuparnos porque los protones y neutrones durarán, por lo menos, diez elevado a la treinta años más. Es mucho tiempo, mucho, mucho tiempo.

E.P. Entonces no corremos el riesgo de que, de golpe, todo se desintegre.

S.L.G. No. Sin embargo es fantástico poder contemplar la aparición y destrucción de partículas al mismo tiempo. Para mí, constituye una de las maravillas de la física moderna, una de las cosas más fascinantes. De hecho, hay dos aspectos que convendría señalar: dos respuestas a preguntas que nos conducen a esta reflexión. Primero, ¿por qué los átomos que están aquí son los mismos que los que están allí? La sal que se obtiene del mar es la misma que la que procede de la mina. Tú me dirás que en los dos casos se trata de cloruro sódico formado por

sodio y cloro, pero ¿por qué son iguales estos átomos de sodio independientemente del origen que tengan? Y claro, tú me dirás que el sodio está compuesto del mismo número de protones, neutrones y electrones, de modo que los átomos de sodio distintos son, en realidad, idénticos. Pero ¿por qué son idénticos todos los protones, todos los electrones?

E.P. Será porque todo empezó en el mismo instante partiendo de lo mismo…

S.L.G. Bueno, no exactamente porque no existe eso que llamamos partículas. Una partícula es una manifestación de un campo, y existe un único campo que describe a todos los electrones. Es un objeto, un objeto matemático que crea y destruye partículas, ¡todas iguales!

Cuadro 2: Las cuatro fuerzas, ¿por qué se separaron?

fuerza	intensidad	alcance (en metros)	bosón portador	masa (en GeV)
fuerte	1	10^{-15}	gluones (8)	0
electromagnética	10^{-2}	infinito	fotón	0
débil	10^{-6}	10^{-18}	W^+, W^-, Z	80,80,90
gravedad	10^{-38}	infinito	gravitón	0

Las fuerzas de la naturaleza se deben al intercambio de las llamadas partículas de fuerza, los bosones. La fuerza fuerte, la más intensa, no afecta al mundo macroscópico debido a su corto alcance. La gravedad, en cambio, siendo la fuerza de menos intensidad es la más conocida. Esta fuerza es la que mantiene nuestros pies en el suelo y a los planetas en movimiento alrededor del Sol. Una fuerza mucho más fuerte, la electromagnética, liga a electrones y núcleos en el interior de los átomos y también a varios átomos para formar moléculas y sólidos o líquidos. La fuerza débil es responsable de la desintegración de neutrones y otras partículas, pero también de algunas interacciones en los núcleos de las estrellas. Finalmente, la fuerza fuerte confina a quarks en protones y neutrones y mantiene unidos a los protones en el núcleo, en contra de la fuerza eléctrica que los repele.

E.P. Ése es el primer interrogante. ¿Por qué son todas iguales? La segunda cuestión que te asombra es la posibilidad de crearlas y destruirlas.

S.L.G. Es el fin de la visión de Demócrito que, como sabes, sugirió antes que nadie que el Universo está formado por átomos eternos. Ahora sabemos que los átomos no son eternos, porque se pueden crear mediante procesos o energía, fabricar y destruir. Cuando se aunaron las teorías de la relatividad de Einstein y la mecánica cuántica de Heisenberg y Schrödinger, surgió la posibilidad de crear y destruir partículas que antes no existían. ¡Y esto se está haciendo!

E.P. ¿Afecta también esta revolución del conocimiento de los átomos al conocimiento de las cuatro fuerzas? ¿Sabemos cómo y por qué se separaron?

S.L.G. Sabemos que hubo una época en la que las interacciones estaban unidas. Esto es lo que pensamos. En todo caso, así fue con la fuerza electromagnética y la interacción nuclear débil. Pero ¿cuál fue el mecanismo que las separó, qué las hizo diferentes? Es algo que tendremos que descubrir a principios de este siglo XXI gracias a los experimentos que se realizarán a nivel mundial en el laboratorio europeo de física de partículas en Ginebra. El nuevo acelerador de partículas ha sido diseñado específicamente para descubrir lo que llamamos la quinta interacción, la que separa la electricidad y el magnetismo, de la interacción débil y genera masa. Lo que nos conduce al comienzo de esta reflexión: ¿por qué las partículas tienen masa? Pensamos que al principio de todo nada era masivo, que todo eran partículas sin masa, como los fotones, que adquirieron masa luego. Los protones y los electrones tienen la masa que adquirieron en los albores del Universo. Queremos saber por qué esos elementos adquirieron masa, ¿cómo y dónde? No lo sé.

E.P. A lo mejor es más fácil echar una ojeada al futuro.

S.L.G. Es una pregunta más fácil de responder que la del pasado. Ya sabemos que se van a producir ciertos fenómenos. Se sabe que podremos vivir en paz en la Tierra durante otros pocos miles de millones de años y que van a ocurrir desastres cuando el Sol explote o la Luna colisione con la Tierra. Ahora mismo resulta que la Luna se aleja del Sol, pero llegará el día en que la Luna se quede inmóvil en el

cielo sobre Miami. Imaginémoslo: todo el tiempo luna llena en Miami. Pero de repente empieza a acercarse y cuando ya está al lado estalla en millones de fragmentos ardientes…

E.P. Fascinante…

S.L.G. Sí, es fascinante, pero no son buenas noticias para nosotros. Aunque para entonces tal vez ya estemos alrededor de otra estrella donde nos sintamos seguros. Puede que ese futuro tarde miles de millones de años en llegar, pero es muy fácil de predecir. En cambio, el pasado es menos interesante porque ya ha ocurrido. Se trata de un problema histórico, de saber cómo ocurrió. En biología estamos aprendiendo el origen de la vida y de los animales. Sabemos que la vida empezó en un tiempo muy remoto de la historia del planeta.

E.P. Cuando apareció la materia.

S.L.G. Así es. Le costó unos pocos miles de millones de años, pero luego floreció muy deprisa. El Universo ya era antiguo cuando se formó la Tierra, tenía unos diez mil millones de años. Sabemos algunas cosas sobre los primeros pasos del Universo. Sabemos cuándo se formaron los átomos. Utilizamos un término lingüísticamente abominable, recombinación, para describir la primera formación de los átomos. Recombinación… ¡pero si era la primera vez que se combinaron!

E.P. Núcleo, quarks y electrones.

S.L.G. Núcleo, quarks y electrones. Eso es un átomo. Ocurrió cuando el Universo tenía trescientos mil años.

E.P. Y la luz surgió en ese momento.

S.L.G. Sí. Antes de ese instante preciso el Universo era un lugar sombrío y de pronto aparece este Universo maravilloso.

E.P. Me habría gustado contemplar aquel instante…

S.L.G. No lo creo, porque la temperatura era probablemente la misma que en la superficie solar. No era el mejor momento para estar allí. En realidad, no existía ningún lugar en aquel momento. No había estructura ni sitio donde estar. No existían los planetas, ni las estrellas, ni las estructuras; sólo había la luz y, prácticamente, todo el Universo era idéntico. Los experimentos que acabamos de realizar nos explican

cómo el Universo pasó de ser un lugar ardiente, uniforme y homogéneo a ser muy frío pero estructurado y lleno de cosas interesantes como el planeta Tierra. Y así fue.

Si es verdad que en el inicio de todo proyecto creativo yace una emoción —un lugar común que le costó muchos años aceptar a la comunidad científica—, la emoción por antonomasia de los físicos tiene que ver con el vértigo que produce estar a punto de descubrir los primeros pasos de la materia. Un vértigo que afectará a todos. Paseando en invierno por el campus lleno de escarcha y aguanieve del CERN, en Ginebra, identifiqué la misma emoción en un joven científico español.

Miguel Ángel Sanchís, investigador del Instituto de Física Corpuscular de Valencia, se refería a una de las grandes hipótesis de la física teórica reciente: la existencia de dimensiones extras.

Los humanos vivimos en un mundo cuatridimensional, formado por tres dimensiones espaciales, más la temporal que añadió Einstein con su Teoría de la Relatividad. Todo lo que nos sucede habitualmente se puede explicar en estas cuatro dimensiones, pero parece ser que no ocurre lo mismo cuando se intenta explicar lo que les sucede a las cuatro fuerzas que mueven el Universo.

Miguel Ángel, como muchos otros físicos, cree en la existencia de dimensiones extra, que no vemos, pero que permitirían la unificación de las fuerzas de la naturaleza, es decir entender las cuatro fuerzas como una manifestación a diferentes escalas de una única fuerza.

La gravedad, la interacción más débil y paradójicamente la primera en ser formulada, juega un papel muy importante en la búsqueda de estas dimensiones extras. Parece ser que es precisamente esta fuerza la que podría propagarse por estas dimensiones y explicaría por qué es tan débil: se dispersa en las dimensiones que no vemos en lugar de estar confinada, como sucede con las otras tres fuerzas, a nuestro mundo tridimensional.

—Si formulamos la gravedad en un lenguaje cuántico, se habla del gravitón como la partícula portadora de la fuerza gravitatoria —igual que el fotón lo es de la fuerza electromagnética—. Este gravitón nunca se ha podido observar —continúa Miguel Ángel—, tal vez porque precisamente se

propaga por las dimensiones extras. En los experimentos del LHC, el gran colisionador de hadrones que se pondrá en marcha en el CERN en el año 2007, se producirán colisiones entre protones a energías muy elevadas. Si en estos choques se produce algún gravitón podremos verlo, no directamente, porque desaparecerá en las dimensiones extras, pero sí por el rastro que dejará en el detector: un chorro de partículas que no tendrían un balance de energía y momento en la dirección opuesta.

Este hallazgo significaría el descubrimiento de la nueva física que, a diferencia de descubrimientos anteriores, no desmentiría el modelo actual, el modelo estándar de la física de partículas, sino que lo extendería simplificado, sin embargo, a los principios fundamentales. El modelo estándar actual, a pesar de que ha sido capaz de describir la mayoría de los procesos conocidos y predecir otros nuevos, deja demasiados parámetros libres y preguntas por responder. El descubrimiento de nuevas dimensiones y la cuantización de la gravedad serían el primer paso hacia la unificación de todas las fuerzas. Esto responde a uno de los ideales de todo físico, expresado ya en el siglo XIV por un filósofo escocés, Guillermo de Ockham, «no hay que multiplicar los entes de la razón sin necesidad; hay que ir siempre a las hipótesis más sencillas».

No sólo en los físicos, sino también en los biólogos, los neurocientíficos y los especialistas en robótica e inteligencia artificial, he podido constatar esa especie de presentimiento de que cualquier día —o en cualquier sueño de las noches dedicadas al descanso y al aprendizaje inconsciente— se dará inesperadamente con la respuesta que lo explica todo. En la comunidad científica internacional flota en el aire la sensación de que, de pronto, caeremos en la cuenta de que una obviedad hasta ahora desatendida encierra el secreto tan anhelado del origen de la materia y, por tanto, de nosotros mismos. ¿Cómo no nos habíamos dado cuenta?, dirán los Demócrito, Galileo, Darwin, Einstein de turno, y con ellos, con más parsimonia porque andamos distraídos, pero con idéntica emoción, el resto de los homínidos, esas máquinas hechas de átomos casi eternos.

El nuevo descubrimiento será fruto del conocimiento multidisciplinar que, igual que las cuatro fuerzas que mueven el Universo, debió agrupar un día a todas las disciplinas, antes de que se fueran cada una por su lado.

Ese proceso ya está en marcha en los mejores centros de investigación del planeta.

El otro requisito para el salto adelante en la comprensión de la materia consistirá en afianzar y diseminar la virtud de la humildad, inherente al conocimiento científico que, a diferencia del conocimiento revelado, se somete a la experimentación y la prueba. Las ventajas del método científico con relación al conocimiento revelado, al conocimiento genético —en gran parte irrelevante en los entornos modernos—, o al propio conocimiento adquirido —en su mayor parte infundado—, dieron cauce en el pasado a un cierto fundamentalismo científico comparable en sus estragos al fundamentalismo religioso. Me vienen a la mente ciertos escritos del propio Carl Sagan y, muy en particular, la vehemencia de un Premio Nobel —uno de los Nobel más merecidos desde que el fundador de los premios, Alfred Nobel, los instituyera en su testamento en 1895— contra la homeopatía.

No me he olvidado nunca de mi encuentro con el médico e investigador proscrito Jacques Beneviste junto a su antiguo laboratorio, a unos cincuenta kilómetros de París. Se acababa de refugiar con dos o tres fieles ayudantes en un cobertizo, con el techo de uralita, adosado al moderno laboratorio que había dirigido hasta el momento en que, enfrentado al Colegio de Médicos, mantuvo contra viento y marea que el agua tenía memoria. Según los expertos en homeopatía, aunque se diluyan los medicamentos hasta el punto de que no queden moléculas del principio activo, éstos siguen siendo eficaces. Atribuyen al agua unas propiedades memorísticas que tendrían el mismo efecto que si entre sus moléculas todavía estuvieran presentes los principios activos.

Con el conocimiento disponible hoy resulta muy arriesgado admitir que los millones de pacientes que se someten a terapias homeopáticas sanan —cuando se curan— gracias a factores distintos del llamado efecto placebo. Los argumentos científicos y las pruebas experimentales indican que esos principios homeopáticos son falsos. Pero ¿y si en el futuro se identificaran factores distintos, además del simple impacto de la mente en el propio metabolismo?

En el Antiguo Régimen, en Francia, se marcaba a las prostitutas con una flor de lis en el hombro. Para Jacques Beneviste está claro que los racionalistas, de la misma manera, han decidido que la homeopatía es una enfermedad. Les resulta imposible admitir que «una sustancia diluida en agua ha sido tan diluida que en realidad ha desaparecido, que no queda nada… pero que, en realidad, queda algo, una especie de huella, de recuerdo, que explicaría por qué la homeopatía es eficaz». Frente a esto, parecería lógico que para que se ejerza una acción, hacen falta moléculas por muy virtual que sea el mundo de la información. A lo que Beneviste contesta: « Cuando pones un CD de un cantante o una orquesta, el oído no distingue la fuente. Si pones un CD de Pavarotti el oído no sabe si es un CD o el mismo Pavarotti. Los premios Nobel que me critican creen que la molécula tiene que estar en el interior para que pueda haber una actividad».

Existe un precedente mucho más trágico que la negativa del establecimiento oficial a aceptar las explicaciones homeopáticas. Fue el concepto mismo de enfermedad contagiosa. El doctor Philip Ignaz Semmelweis predijo en los años cuarenta del siglo XIX que la fiebre puerperal, causante de la muerte de muchas parturientas, no era más que una infección por contagio. Hasta ese momento la fiebre puerperal se consideraba una enfermedad propia del parto, contra la que nada se podía hacer. Sin embargo, las investigaciones de Semmelweis mostraron que en las salas de partos atendidas por comadronas la mortalidad materna no pasaba del uno por ciento. Sin embargo, en las atendidas por estudiantes que procedían del anfiteatro de autopsias las muertes superaban el treinta por ciento. Semmelweis había concluido que el material putrefacto presente en las autopsias era el causante de la fiebre puerperal y obligó a todo el que entrara en una sala de partos a lavarse las manos con agua clorada.

A pesar de que con esas medidas se impedía la fiebre puerperal, la mayoría de médicos despreciaron las tesis de Semmelweis. Miles de parturientas siguieron muriendo sin necesidad durante decenas de años en los quirófanos, sembrando gratuitamente el dolor y la consternación. Al doctor Semmelweis se le expulsó de los hospitales y fue acusado de

enemigo del Imperio austrohúngaro. Acabó sus días en un manicomio, en medio de febriles delirios, supuestamente por septicemia, tras herirse un dedo en una de sus últimas autopsias.

Y ¿cómo no acordarse con ira de los investigadores que abandonaron el laboratorio en el que trabajaban con Louis Pasteur, escandalizados porque éste había introducido agentes patógenos en un niño de nueve años en lo que fue, de hecho, la primera vacunación en humanos contra la rabia?

Capítulo III

Así empezó la vida

STANLEY L. MILLER

KENNETH H. NEALSON

Stanley L. Miller, profesor de Química en la Universidad de California en San Diego, fue el primero en sintetizar compuestos orgánicos en el laboratorio, simulando las condiciones atmosféricas de la Tierra primitiva.

Kenneth H. Nealson, investigador del Jet Propulsion Laboratory de la NASA, donde fundó el grupo de Astrobiología con la intención de desarrollar métodos para detectar señales de vida en ambientes extremos tanto en la Tierra como fuera de ella.

Por qué todavía no lo sabemos todo

STANLEY MILLER

«Si se repitiera la evolución en otro planeta, creo que se llegaría a algo muy parecido a lo que tenemos en la Tierra.»

Somos como los virus. Me refiero a la vida: somos portadores de todas las instrucciones necesarias para fabricarla, pero no sabemos cómo se hace. Los virus se ven obligados a secuestrar el aparato reproductivo de una célula, a la que engañan vilmente en su beneficio, y nosotros todavía tenemos que recurrir a una molécula anterior para explicarnos cómo empezó todo.

Tal vez la clave esté precisamente en el estudio de los virus, a los que se les sigue negando su condición de organismo vivo al no reproducirse por sí mismos. Podrían ser una especie de recibidor antes de entrar en la vida: tienen genes y una envoltura grasa en su capa de proteína —lípidos—, pero no tienen a punto el sistema reparador de su ARN —por ello mutan tan frecuentemente— ni pueden replicarse por sí solos. Por otra parte, son demasiado simples para prefigurar la vida y su estudio no tiene más objeto que impedirles ser la antesala de la muerte.

Tal vez la clave esté en los minerales. La belleza que destila la simetría de algunos cristales prefigura niveles de complejidad característicos de la vida. No sería extraño que, a base de mirarse unos a otros durante millones de años y haber aprendido a sacar copias de sí mismos, hubieran pasado el secreto de la replicación a algún conjunto de moléculas precursoras de la vida. Durante años me he sentido satisfecho con esa hipótesis. Mientras la gente a mi alrededor seguía discutiendo vanamente sobre las supuestas diferencias entre humanos y el resto de los animales, yo me alegraba de haber superado hacía tiempo este debate particular que, por lo demás, nunca llegó a interesarme. Mi problema era

saber lo que nos diferenciaba de las piedras o las sustancias inanimadas. Como dice Stephen Hawking, «la estirpe humana no es más que un sustrato químico en un planeta pequeño, orbitando alrededor de una estrella mediana, en los suburbios de una galaxia del centenar de miles de millones que existen».

Paradójicamente, fue el químico James Lovelock, en su casa de Cornualles, en Inglaterra, junto a su mujer americana Sadie, el que me alertó sobre algo que marcará de manera indeleble nuestra idea de la vida. La naturaleza química de la vida, incluso su cercanía a los objetos inanimados, no está en absoluto reñida con el hecho de que la vida sea un fenómeno fundamental. Lovelock, como relata él mismo en el siguiente capítulo, fue el primero, junto a la bióloga Lynn Margulis, en señalar que el planeta es lo que es precisamente porque hay vida. Una vida que arrolla todo lo que encuentra a su paso. Treinta años después, físicos como David Deutsch lo dirían también del Universo y los multiversos.

La astrología —me recordaba el propio David Deutsch por videoconferencia desde el Centro de Computación Cuántica en el Laboratorio Clarendon de la Universidad de Oxford— creía que los astros influenciaban el comportamiento humano. Durante siglos, la ciencia sugirió que no había ninguna influencia recíproca. Y ahora resulta que los asuntos humanos repercuten en los acontecimientos cósmicos.

La vida no es un sustrato químico irrelevante en la inmensidad del cosmos. Y, a lo mejor, nos hemos obsesionado en exceso en considerar que la quintaesencia de la vida es la replicación genética. Con replicación o sin ella, la vida está conmocionando a la Tierra. La vida es un fenómeno fundamental que conforma al planeta y otros universos. Y el primero en asimilarlo desde una perspectiva científica fue James Lovelock.

Pero antes de profundizar en esa perspectiva de interactividad sugerida por el creador de la teoría de Gaia —la Tierra considerada como un superorganismo vivo—, es necesario arrancar desde el punto de partida. Y nadie simboliza mejor el estado de la cuestión, como se enseña en las facultades de biología de todo el mundo, la concepción estándar elaborada por químicos y biólogos para el gran público, que Stanley Miller.

A comienzos de los años cincuenta, Stanley Miller era un joven biólogo que saltó inesperadamente a la primera página del mundo mediático. En un sencillo alambique de laboratorio sintetizó aminoácidos, los ladrillos con los que se fabrican las proteínas necesarias para la vida de las células. Partiendo de gases como el metano para simular la atmósfera de la Tierra primordial, Miller y su equipo sorprendieron al mundo escalando el primer peldaño que conducía a la creación de la vida en el laboratorio. Nadie había estado más cerca de demostrar que la búsqueda del origen de la vida estaba bien encaminada, respaldada por la experimentación científica y a punto de solucionarse. Ha transcurrido casi medio siglo desde entonces y, tristemente, Miller y su equipo —con los centenares de imitadores esparcidos por otros tantos laboratorios— no han podido alcanzar el segundo peldaño.

STANLEY MILLER. Lo que resulta más difícil es conseguir polímeros de estos aminoácidos: lograr que se organicen de modo que puedan autorreplicarse, reproducirse por sí mismos. Esto ha resultado muy difícil. Creo que el problema radica en que nos falta algún detalle. En cuanto descubramos el truco, será sencillo explicar qué ocurrió hace más de tres mil quinientos millones de años.

EDUARDO PUNSET. O sea que, de momento, falta un eslabón entre, digamos, los aminoácidos y las proteínas, la vida misma. ¿Qué falta? ¿Alguna molécula precursora?

S.M. Faltan muchas cosas. Pero la parte más difícil consiste en obtener algo que pueda replicarse, reproducirse a sí mismo, porque en cuanto algo es capaz de eso entonces se inicia una evolución darwiniana. El problema yace en la naturaleza del primer material genético. En la biología actual el ADN y el ARN se autorreplican. Quizás ésas fueron las primeras moléculas que se formaron en aquel océano primitivo, pero yo creo que existieron otras moléculas distintas, más prebióticas, más fáciles de sintetizar en condiciones primitivas; y ellas habrían sido la base del primer material genético. Si supiera cómo eran, te lo diría pero no lo sé.

E.P. ¿Y todavía confías en que algún día se encontrará ese puente entre las primeras estructuras y la propia vida, la vida que se puede reproducir a sí misma?

S.M. Por supuesto. Si sucedió en la Tierra mediante procesos naturales, se puede reproducir en el laboratorio. Por tanto sí, lo encontraremos.

La seguridad que Stanley Miller me transmitía —medio siglo de espera frustrante no es nada, después de todo— no arrancaba de ningún fundamentalismo científico, sino de la aceptación tranquila —con su carácter nada altanero y reservado— del paradigma científico al uso. Me recordaba otra conversación con el también biólogo Antonio Lazcano, educado en los mejores centros de investigación de México y Estados Unidos: «A veces se nos olvida que es un gran triunfo de la ciencia poder asomarse a cualquier proceso metabólico, la respiración, la fotosíntesis, la formación de proteínas, el ensamblaje de membranas, y poderlo explicar todo en términos estrictamente físicos y químicos».

E.P. ¿Y en otros planetas? ¿Qué pasa en otros planetas?

S.M. Si encontramos otro planeta en que se den las mismas condiciones que en la Tierra, conseguiremos las mismas estructuras básicas.

E.P. Así de inevitable…

S.M. Es pura química.

E.P. Pero la vida en otros planetas podría adoptar formas distintas a las que conocemos actualmente.

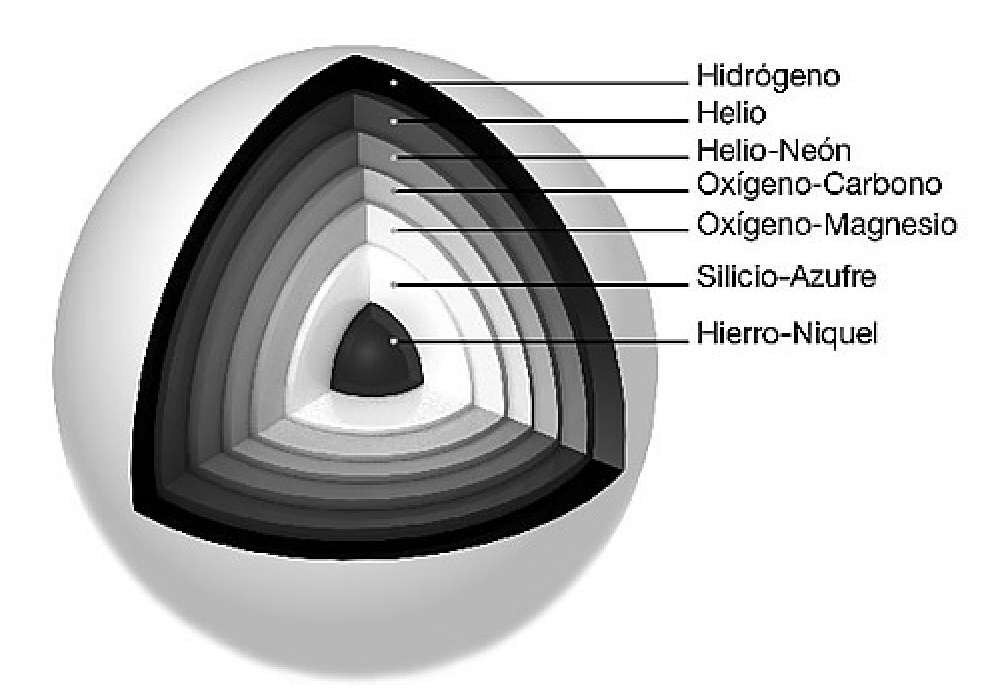
S.M. No lo sabemos. Pero yo diría que la vida en otro planeta, incluso con un origen y evolución independientes, sería parecida a la que conocemos en la Tierra. Podría haber distintos aminoácidos y diferentes bases en los ácidos nucleicos, pero seguirían siendo más o menos iguales porque las estructuras básicas serían las mismas. Habrá quien no esté de acuerdo conmigo y piense que la vida allá puede ser muy distinta. Mis razones para pensar lo contrario son que las estructuras básicas son las mismas y que el material disponible es muy semejante.

E.P. Cuando dices estructuras básicas, ¿te refieres a los aminoácidos, los azúcares?

S.M. Así es.

E.P. ¿Qué pasa con elementos como el carbón o el hierro, formados en otros soles o supernovas miles de millones de años atrás y que, sin embargo, se encuentran todavía en nuestra sangre, en nuestros huesos, en nuestras células? ¿No será que la biología nos lleva a la cosmología? ¿Tenemos que descubrir los orígenes del Universo para conocer los orígenes de la vida?

S.M. Pienso que el término estructuras básicas se refiere, sobre todo, a los elementos. Y no creo que la biología nos lleve a la cosmología, sino más bien lo contrario. En el Big Bang de hace quince mil millones de años se formaron el hidrógeno y el helio. Y los elementos como el carbón, el nitrógeno, el oxígeno y el hierro surgieron en una supernova que al explotar los esparció y luego se unieron para formar el Sol y los planetas. Y por eso…



Esquema de una estrella-cebolla que muestra los elementos básicos de las diferentes capas de su interior. Nuestro cuerpo y todo lo que nos rodea tiene sus orígenes en el interior de las estrellas.

E.P. Están ahora en nuestros cuerpos, siguen todavía en nuestros cuerpos.

S.M. Así es. Y permanecerán en la Tierra durante muchísimo tiempo, miles de millones de años, porque bajo ciertas condiciones de temperatura son estables. Si colocáramos esos elementos terrestres en una estrella, se transformarían en otros elementos, pero si no lo hacemos seguirán así para siempre. Si se repitiera la evolución en otro planeta, creo que se llegaría a algo muy parecido a lo que tenemos en la Tierra. Por ello es bastante razonable pensar que hay seres inteligentes y civilizaciones que se comunican en otros planetas.

E.P. ¿Y esos seres vivos hechos de elementos también acabarán generando inteligencia y conciencia?

S.M. Creo que sí. Quizá no en todos los planetas, porque en alguno sólo podrán sobrevivir microorganismos, pero si se dan las condiciones adecuadas en otros planetas, evolucionarán seres más complejos. Tal vez haya cientos o millones de cuerpos celestes en nuestra galaxia con vida inteligente.

E.P. ¿Crees de verdad que la inteligencia puede explicarse como la culminación del desarrollo de las máquinas que somos?

S.M. Sí. Sólo tienes que observar a los animales y te darás cuenta de que se vuelven más inteligentes cuanto más próximos están a los humanos, evolutivamente hablando.

E.P. ¿Cómo es posible que frente a la diversidad increíble de las formas de vida exista una uniformidad tan aplastante en las estructuras básicas? Algo más de media docena y con ellas se fabrican dinosaurios, seres humanos, pájaros…

S.M. Las estructuras básicas aparecieron en una fase muy incipiente de la evolución y todos los seres vivos utilizan básicamente las mismas. Pero si las unimos de manera distinta, aparecen proteínas y estructuras diferentes. La evolución darwiniana ha convertido las proteínas y los ácidos nucleicos en organismos distintos que viven en lugares muy dispares.

E.P. ¿Qué diferencia existe entre un objeto inerte y una célula viva?, ¿entre un pájaro y un vaso? Porque… los materiales de que están hechos parecen los mismos.

S.M. Bueno, las rocas son diferentes porque son de silicio. Pero te refieres a la diferencia entre lo vivo y lo no vivo. Hay muchos compuestos de carbono que no están vivos, como los plásticos y cosas así. La respuesta a tu pregunta es la autorreplicación. Los seres vivos pueden autorreplicarse y evolucionar. Ésta es la diferencia, y así podemos identificar lo que está vivo, con este concepto.

E.P. Y si hay replicación habrá mutaciones y, por tanto, diversidad.

S.M. La selección darwiniana: diversidad y evolución.

E.P. ¿Cuál crees que será el acontecimiento más importante de este siglo?

S.M. Encontrar vida en otro planeta mediante señales de radio o realizando expediciones espaciales: encontrar vida en Marte, o recibir señales de radio procedentes de más allá del sistema solar. ¡El otro gran descubrimiento sería comprender de verdad cómo apareció la vida en la Tierra!

En lugar de investigar de abajo arriba, otros científicos siguen la dirección contraria dentro del mismo paradigma de la replicación. En este último caso van de arriba abajo, partiendo de organismos complejos hasta llegar a estructuras minimalistas en búsqueda de una bacteria precursora de los organismos precursores. ¿Cuál es la mínima expresión genética de la vida primordial? Si los humanos cuentan con unos treinta y cinco mil genes, ¿a partir de cuántos genes pudiera haber cristalizado, por lo menos teóricamente, el primer replicante? La respuesta es doscientos setenta genes. Siempre que no sea una impostora la bacteria que vive en simbiosis con un pulgón estudiado, entre otros científicos del mundo, por el equipo que dirige Andrés Moya en el Instituto Cavanilles de Biodiversidad y Biología Evolutiva de la Universidad de Valencia. Agrupando estos pocos genes por categorías, resulta que están sobrerrepresentadas las funciones que tienen que ver con la transcripción, la traducción y la replicación del material.

Todo esto permite especular sobre el primitivo mundo del ARN. Probablemente, cuando todavía no se habían configurado las primeras células ya existían los genes extraordinariamente representados, ahora identificados.

—Yo no digo que estos genes sean los necesarios para hacer una célula; de hecho, hacen falta unos más —dice Andrés Moya—, pero el grupo de ciento ochenta, aproximadamente, a los que me refiero constituye un paquete central que tiene que ver con la síntesis de proteínas, el código genético, la replicación, la estructura mínima para la vida. Estamos hablando de la capacidad de los organismos precelulares de replicarse con eficacia y ejercer ciertas tareas de mantenimiento. En torno a esos entes se habrían aglutinado más tarde otros elementos hasta configurar una célula.

Probablemente algo parecido estaría pensado François Jacob, premio Nobel de Medicina en 1965, cuando unos años antes, comentando su libro La lógica de lo vivo*, admitía, sólo como hipótesis, que pudo haber existido una molécula capaz, al mismo tiempo, de reproducirse y catalizar las reacciones necesarias. «Es una hipótesis pero —añadía Jacob con la misma melancolía con la que Carl Sagan enunciaba la posibilidad de vida extraterrestre y la certeza de no poder confrontarla jamás debido a las distancias siderales— hay pocas posibilidades de que algún día podamos ver lo que ocurrió. Se pueden hacer experimentos limitados para poner a prueba algunos aspectos de esta hipótesis, pero jamás se podrán seguir las etapas que se sucedieron en aquel momento. Con el telescopio Hubble se puede contemplar lo que ocurrió en el Universo hace miles de millones de años, pero hay muy pocas probabilidades de poder captar las secuencias ultramicroscópicas que desembocaron en una química determinada hace unos tres mil quinientos millones de años.»*

La vida no debería estar ahí

Kenneth Nealson

«Nosotros no deberíamos estar caminando en este planeta, ya que todas las leyes de la química impiden que esto suceda de forma aleatoria.»

Las exigencias concretas del equipo que dirige Ken Nealson —diseñar el manual que permita encontrar vida en el espacio— les ha llevado a buscar biofirmas. Aquí no se trata de indagar de abajo arriba ni de arriba abajo, sino de identificar «lo que no debería estar allí». Lo único seguro es que la vida es un proceso de entropía negativo, que hace falta mucha energía para que emerja un compuesto complejo que cuestione transitoriamente la marcha del Universo hacia el desorden y el descenso en los niveles de temperatura. Para el equipo multidisciplinar de Nealson lo que cuenta es todo aquello «que no debiera estar ahí». Y que si está, se sepa identificar sin obcecarse con las estructuras conocidas en el planeta Tierra.

KEN NEALSON. Nosotros no deberíamos estar caminando en este planeta, ya que todas las leyes de la química impiden que esto suceda de forma aleatoria. Déjame que te entregue esta roca y te haga una pregunta: ¿hubo vida en la Tierra alguna vez?

EDUARDO PUNSET. Supongo que la roca es de este planeta…

K.N. Sí, es una roca terrestre. Y ahora tu trabajo consiste en decirme si hubo vida en la Tierra analizando sólo esta roca. No puedes examinar el ADN, el ARN, las proteínas o cualquier otro tipo de moléculas que sabemos que existen en los seres vivos. Tienes que hacerlo desde otras perspectivas. Y a eso es a lo que yo llamo métodos de detección de vida no centrados en la Tierra.

E.P. ¿Qué criterios vas a utilizar? ¿El movimiento?

K.N. No, porque esta roca tiene dos millones y medio de años y no hay nada que se mueva, no contiene nada vivo.

E.P. Comprobarás si hay agua…

K.N. No. No hay agua y, sin embargo, aparecen todos los indicios de la vida. De hecho ya hemos demostrado estadísticamente que se puede hacer, pero ahora debemos realizar estos procesos con los instrumentos adecuados. La idea fundamental es que la vida debe tener algún tipo de estructura que permita que una clase de energía se convierta en otra. Y esto no puede hacerse sin algún tipo de batería o de transistor de energía.

E.P. ¿Transistor?

K.N. Quiero decir transmisor de energía. Es necesario tener un sistema. Primero se buscan las estructuras, pero las estructuras no bastan; la estructura tiene que tener un compuesto químico. El compuesto químico debe ser algo que no debería estar ahí, porque la vida es lo que mucha gente llama entropía negativa. Es algo que es…

E.P. Poco común.

K.N. Algo que no debería estar ahí. La vida es una manera de tomar la energía y realizar una estructura hecha de productos químicos que la diferencian de lo que simplemente está asentado en la roca. Y de hecho, si se formula la pregunta sobre la vida en la Tierra se descubre que el carbono, el fósforo, el sulfuro, el nitrógeno y unos cuantos metales todos juntos… están presentes cada vez que hay vida. Y cuando no hay vida no están. Es un diagnóstico perfecto. Por tanto, para analizar una roca como la que te he mostrado queremos desarrollar métodos para medir los productos químicos en una microescala, y levantar una bandera cada vez que nos encontremos algo que no debería estar allí. Buscar una estructura que está formada por componentes erróneos.

E.P. Estás diciendo que la vida es lo erróneo.

K.N. La vida es una equivocación. No debería estar ahí. De acuerdo con las ecuaciones químicas naturales nunca debería existir, y el motivo por el cual no debería existir es que es muy compleja. Se necesita mucha energía para realizar algo como eso, y nosotros somos incapaces de

hacerlo mediante cualquier proceso químico al azar. Tenemos que darnos cuenta de que lo que buscamos es algo a medio camino entre lo termodinámico y lo estructural.

E.P. ¿Es cierto que se pudo activar una bacteria de un insecto que estuvo atrapada durante diez millones de años en un pedazo de ámbar que se encontró en la República Dominicana? ¿Es posible que esa bacteria pudiera hibernar en el ámbar durante diez millones de años?

K.N. Es cierto. Se trata de unas bacterias que pertenecen a un grupo llamado bacilo, con unas pequeñas branquias…

E.P. Como el bacilo subtilis…

K.N. Sí, muy parecidas al bacilo subtilis, pertenecen al mismo grupo. Se pueden observar en el estómago de un insecto las esporas de los bacilos que se pueden extraer, ponerlas en una placa y resultan ser las mismas bacterias que se encuentran en el estómago de los insectos diez millones de años después. También son muy resistentes a las sequías y pueden durar cientos de miles de años en la superficie del planeta.

E.P. Seguramente esto prueba que habrían podido incluso viajar por el espacio y sobrevivir.

K.N. Realmente esto ha hecho cambiar la manera de pensar de muchos de nosotros sobre la panspermia —la doctrina que sostiene que hay gérmenes de seres organizados difundidos por todas partes, que no se desarrollan hasta encontrar circunstancias favorables para ello—. Antes rechazábamos esta posibilidad como muy poco probable, pero una vez hemos visto cómo un organismo puede subsistir durante millones de años en ambientes muy fríos o muy secos, o en la propia Tierra, cambiamos nuestra forma de pensar.

E.P. Ken, te parecerá ciencia-ficción, pero ¿no existe el peligro de que traigamos de fuera alguna forma de vida que pueda resultar peligrosa para los terrestres? ¿Estáis considerando esta posibilidad?

K.N. Lo tenemos siempre presente. Siempre pensamos y hablamos de este tema. La comunidad científica tiene muy claro que no se puede imaginar ningún organismo que provenga de ese clima espacial y que pueda desarrollarse en la Tierra. Pero no podemos demostrar que no exista ninguna posibilidad y, por lo tanto, trabajamos muy

compenetrados con el Centro para el Control de Enfermedades para aprender cómo embalan cosas tan peligrosas como los virus cuando los envían a distintos laboratorios de investigación. Nosotros utilizamos idénticos métodos para las muestras que traemos del espacio; no porque les tengamos miedo, sino porque no podemos demostrar que no exista ningún peligro.

E.P. ¿Y al revés? Nosotros estamos contaminando el cosmos con virus, radiaciones, desperdicios en la Luna y Marte.

K.N. En efecto, y por mucho que se quiera limpiar, nunca se puede dejarlo todo impecable. Llevamos un control muy riguroso cada vez que enviamos una nave a la Luna o a Marte. Esterilizamos y limpiamos las superficies, pero sabemos por experiencia —como cuando vamos a un hospital y cogemos una enfermedad contagiosa—, que no podemos eliminar todos los riesgos. Por ello damos por supuesto que la superficie de Marte es tan dura para las bacterias de la Tierra que si alguna llegara allí, tal vez podría sobrevivir, pero no desarrollarse. No hay agua, hace demasiado frío, y no existen nutrientes conocidos. Podemos imaginar que viviera algunos años, pero no se desarrollaría. Si llegara a un planeta más templado…

E.P. ¿Cómo cuál?

K.N. Las lunas de Júpiter —Europa, Calisto y Ganímedes— son muy distintas pero todas tienen agua.

E.P. ¿Estás seguro?

K.N. Casi con certeza, a veinte o treinta kilómetros debajo del hielo hay un océano global. El problema consistiría en evitar que una bacteria terrestre penetrara en aquel océano. Las cosas son muy distintas cuando llegas a un planeta con agua.

Tres años después de aquel encuentro, en plena irrupción de robots en Marte —el Beagle 2 *de la Agencia Espacial Europea que no llegó a aterrizar, el Spirit y el* Opportunity *de la Nasa—, Ken Nealson figuraba en el reducido grupo de expertos que no se cansaba de repetir, frente a la mayoría de sus colegas, que no esperaran gran cosa de Marte, por lo menos en cuanto a descubrir vida. «No basta el agua— repetía Ken—. No*

se ha encontrado apenas nitrógeno, y yo buscaría nitrógeno en lugar de agua si me interesara la vida.» El nitrógeno interviene en la transferencia y movimiento de energía a nuestro alrededor. Hay ciertos componentes universales de la vida: debe haber algunas formas de energía estructuradas que permitan pasar de una a otra, y más importante, deben ser complejas porque la complejidad es necesaria para recoger todas esas piezas y transformar la energía en estructuras nuevas y complejas. Pero la complejidad no tiene por qué parecerse a nada de lo que conocemos. Sólo significa que debe existir algún tipo de estructura compleja y dicha estructura no sería predecible a partir de las características geológicas, biológicas, químicas o físicas del planeta. Por ello buscamos categorías como la complejidad, estructura, productos y flujos de energía sin dejarnos influenciar por la necesidad de que haya proteínas, ADN o algún elemento que conozcamos.

E.P. ¿Te refieres a esto cuando hablas de que tu equipo busca biofirmas en el espacio?

K.N. Me refiero a que haya algo que se pueda medir, que sea una definición de la vida. Si lees un libro de biología para saber lo que es la vida, encontrarás una definición de más de tres páginas, pero nada que se pueda medir. Por lo tanto es inútil, porque al espacio vamos a enviar máquinas. Lo que queremos hacer es definir la vida en cantidades mesurables y luego fabricar máquinas que puedan medirla. Hablamos de cosas que no deberían estar ahí, de mezclas químicas que no encajan en la matriz. Necesitamos una máquina que pueda dar con mucha exactitud la composición química, alimentar con esa información el ordenador; y cada vez que el ordenador descubra algo que no debería estar allí diga: «Veámoslo mejor; no vaya a ser que fuera esto».

E.P. ¿Y si en Marte o en las lunas de Júpiter no hubiera nada?

K.N. ¿No crees que sería hermoso contar con un planeta donde nunca hubiera habido vida? Así conoceríamos la historia y la apariencia del Sistema Solar en ausencia de vida. Dispondríamos de lo que llamamos un miembro fantasma, un planeta donde no ha habido vida que

podamos comparar con la nuestra y pensar en la forma de diferenciarlas. Y si contamos con una planeta vivo y otro que no lo está, estaríamos en condiciones de buscar bioseñales mucho mejor concebidas que las diseñadas ahora. Sobre todo más allá del Sistema Solar.

En mi segundo encuentro con Ken Nealson lo vi con la misma alegría que brotaba de su obsesión permanente por la vida, pero con una diferencia de matiz. Tal vez le obsesionaba algo menos el agua o la replicación en el contexto de la vida y mucho más la convicción de que la vida era un fenómeno complejo. Y si lo es —más allá del agua y la replicación también propias de una simple molécula minimalista y antecesora del precursor—, entonces resultaría más fácil entender que un fenómeno complejo pueda transformar el planeta y el Universo. Pero ésta fue la intuición genial de James Lovelock y, en cierto modo, del fundador de la sociobiología: Edward O. Wilson.

¿Estamos continuamente absortos intentando tripular esta nave espacial —como califica Wilson al planeta Tierra—, que funcione, justamente porque la destruimos al mismo tiempo, porque sólo en ella se dan las condiciones necesarias para la vida, o es la vida la que ha diseñado el planeta? El lector encontrará la respuesta en el siguiente capítulo.

Capítulo IV

La senectud del planeta

James Lovelock

Edward O. Wilson

James Lovelock, inventor, escritor e investigador, trabajó para la NASA, colaborando en los experimentos de la primera misión lunar Surveyor. Es especialista en química atmosférica y uno de los padres de la teoría de Gaia.

Edward O. Wilson, profesor de la Universidad de Harvard y, probablemente, el mayor experto mundial en hormigas. Gran divulgador y ganador de dos premios Pulitzer, es conocido internacionalmente como el padre de la sociobiología y creador del término biodiversidad.

Es la vida la que diseña al planeta

James Lovelock

«La vida se hace cargo de todo y controla la evolución.»

EDUARDO PUNSET. ¿Por dónde empezamos? Me imagino aquella fotografía maravillosa de la Tierra —luego hablaremos de Gaia— vista desde el espacio. Aquella visión de un planeta solitario y azul cambió la percepción de mucha gente sobre dónde estamos y qué somos.

JAMES LOVELOCK. Creo que fue una de las imágenes más extraordinarias que he visto jamás: la fotografía de la Tierra vista desde el espacio. Pero creo, sobre todo, que la verdadera visión estaba en la mente de los astronautas cuando posaron la mirada en su planeta. Cuando hablas con ellos, siempre te comentan hasta qué punto se emocionaron, cómo se dieron cuenta de que esa esfera azul era su morada, más que la calle en que vivían, su ciudad o la nación de la que eran ciudadanos.

E.P. Es una foto maravillosa.

J.L. Sin duda.

E.P. ¿Conociste a Joan Oró, el científico español que trabajó muchos años en la NASA?

J.L. Sí, claro que le conocí. Estuvimos juntos en Houston, estaba en la misma universidad que yo.

E.P. A él también le impresionó esta visión de la Tierra desde el espacio. Recuerdo que coincidimos en Barcelona a raíz del restablecimiento del primer Parlamento democrático de Cataluña después del franquismo. Los dos éramos recién llegados; él desde Texas y yo desde el Fondo Monetario Internacional de Washington. Nos había atraído la promesa de una España democrática que iniciaba su andadura. «Ahora estoy convencido de que las cosas van a cambiar —me dijo—. Cuando la

gente mire la Tierra desde fuera, va a ocurrir algo muy extraño, revolucionario: cambiará la mentalidad.» «¿Estás seguro, Joan?», le pregunté. James, yo todavía no he visto estos cambios, ¿y tú?

J.L. No se han producido todavía, y creo que se debe al hecho de que aún no hemos hecho suficiente daño a la Tierra que se ve en aquella fotografía como para darnos cuenta de lo maravillosa que es. El próximo siglo pagaremos el precio de nuestras acciones: la destrucción de la atmósfera, la eliminación de los hábitats naturales. Todo esto lo pagaremos y sólo entonces nos daremos cuenta de lo maravilloso que era nuestro planeta.

E.P. En mi encuentro con Joan Oró —éramos como dos marcianos en aquel país repentinamente bullicioso—, le intenté convencer de que iban a desaparecer muy pronto las fronteras. «Desde el espacio está claro que no hay fronteras separando a los países y desde ahora no las habrá nunca más», le dije. Y sin embargo, sigue habiendo fronteras por todas partes, incluso en mi pequeño país, Cataluña.

J.L. Como dijo el sabio americano Edward O. Wilson, con el que también te has entrevistado, «el problema con los seres humanos es que son caníbales tribales». No se puede cambiar eso, no se puede hacer nada a no ser que se nos altere la ingeniería genética.

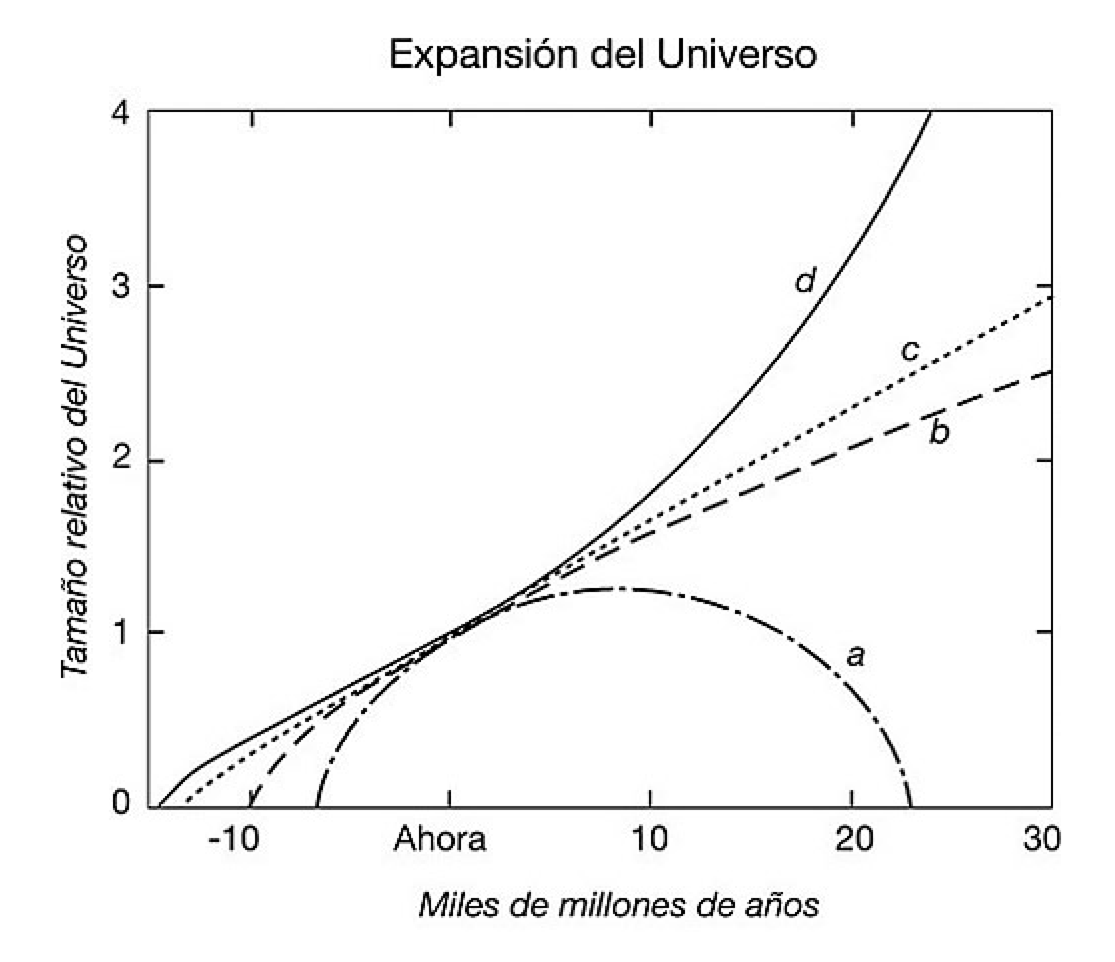


Gráfico de la expansión del Universo. Posibles escenarios para la expansión y contracción del Universo: la **curva a** representa un Universo cerrado, de gran densidad, que se expande durante millones de años hasta que finalmente colapsa. La **curva b** representa un Universo plano, con una densidad crítica en la que el ritmo de expansión del Universo decrece. La **curva c** muestra un Universo abierto de baja densidad, cuyo ritmo de expansión también decrece. La **curva d** muestra un Universo en el que el ritmo de expansión es acelerado, a causa de la materia oscura. Parece ser que nuestro Universo tiene un comportamiento parecido al de la curva d.

E.P. Es increíble la morosidad del cambio cultural. Me asaltan todas las dudas cuando oigo decir a la gente que todo cambia muy rápidamente. Desde tu perspectiva de científico independiente, ¿ves muchos cambios?

J.L. Hay que cambiar para que todo siga igual. Creo que todo es tribal. No importa el tipo de sistema en vigor, ya sea capitalista, religioso o cualquier cosa, siempre hay una jerarquía con un líder tribal, igual que

en las tribus primitivas, y no lo podemos cambiar. Forma parte de nuestros genes, de nosotros mismos. Nunca cambiará, siempre tendremos sistemas tribales.

E.P. Como ocurre con los chimpancés.

J.L. Como los chimpancés. ¡Nos parecemos tanto a ellos! Las diferencias son sólo de grado.

E.P. Hay algo que siempre me ha intrigado. Por una parte, existe una especie de consenso en la comunidad científica, particularmente entre los físicos, pero no sólo entre ellos —estoy pensando en gente como Harold Morowitz, por ejemplo—, acerca de que tenemos la suerte de vivir en un Universo amable. Hemos tenido la suerte de aparecer en el lugar preciso; si hubiera habido pequeñísimas desviaciones en el perfil de las cuatro fuerzas que mueven el Universo, por ejemplo, no habría vida. Por otra parte hay científicos como tú que no comparten esta opinión: «No es eso, no es eso —dices—, estamos en el lugar adecuado precisamente porque existe la vida; es la vida la que moldea a este planeta amable tan proclive a la vida».

J.L. Sí, Eduardo, es así. Los científicos clásicos dijeron: ¡qué suerte que la Tierra se encuentre a la distancia adecuada del Sol, y que la temperatura sea la adecuada para los seres vivos! Pero esto no tiene ningún sentido. Quizás hubo un momento —tal vez cuando apareció la vida en la Tierra— en que se encontraba, más o menos, en el lugar adecuado; pero una vez que aparece la vida en el planeta, éste ya no evoluciona como los demás, que se van desertizando, como ocurrió en Marte o Venus. En cierto modo, la vida se hace cargo de todo y controla la evolución. Por lo tanto, los dos sistemas evolutivos, el inorgánico y el vivo, se mueven al mismo tiempo, de ahí que el planeta sea siempre un lugar agradable para la vida que pueda existir en cada momento.

E.P. Pudieron existir otros tipos de vida que acaso compitieran entre sí.

J.L. Así fue en el pasado. Cuando el mundo sólo estaba habitado por bacterias, durante casi mil millones de años, existió una atmósfera dominada por un único gas, el metano, y había muy poco oxígeno en la atmósfera, por no decir casi nada. Era un mundo que nos habría

parecido bastante desagradable y, probablemente, muy maloliente. Y, sin embargo, las cosas cambiaron, la vida evolucionó, y nos proporcionó una atmósfera con oxígeno como la que tenemos ahora.

E.P. Entonces no es verdad —al contrario de lo que se ha dicho siempre— que la introducción del oxígeno fuera un verdadero cataclismo para las especies del planeta. El oxígeno reactivo fue la salvación de la vida compleja.

J.L. Creo que fui el culpable, hace unos treinta años, de sugerir que la aparición del oxígeno fue el principal contaminante de la atmósfera jamás conocido y que exterminó a un número incontable de especies. Ahora me doy cuenta de que cometí un error, porque si pensamos en ello, uno de los primeros organismos de la Tierra fueron los fotosintetizadores, las cianobacterias. Tuvo que ser así porque la primera fuente de energía era el Sol y alguien tuvo que inventar el proceso para obtener energía del Sol de forma eficaz. Cuando las cianobacterias lo consiguieron, comenzaron a generar oxígeno dentro de sus propias células, pero el oxígeno es una sustancia muy venenosa y destructiva, su acción es radiactiva. Por ello tuvieron que inventar todo tipo de sistemas para liberarse del oxígeno venenoso e inventaron una enzima denominada superóxido desmutasa que divide al oxígeno doble. Así que cuando apareció el oxígeno en la atmósfera, al final del Arqueano, todos estaban acostumbrados y sabían lo que tenían que hacer, no los exterminó. Es cierto que algunos organismos no se sentían a gusto con el oxígeno, pero decidieron vivir bajo la tierra tan felices. Ahora tenemos un 21 por ciento de oxígeno en la atmósfera y, no obstante, los anaerobios son probablemente más numerosos que los que existían en el Arqueano. Están dentro de nosotros, en nuestros intestinos, debajo de todas las capas subterráneas de la Tierra.

E.P. Y viven sin oxígeno.

J.L. Viven muy felices, porque producimos alimentos para ellos.

E.P. Lo cierto es que sin oxígeno no habría ozono y sin ozono habría mucha radiactividad procedente del espacio…

J.L. En mi opinión, eso se ha exagerado. No creo que sea tan importante como se suele decir. Antes de que apareciese el oxígeno pudo no haber habido ozono y, no obstante, había vida. Lo que ocurrió seguramente fue que antes del oxígeno había productos de metano en descomposición, una especie de niebla en la atmósfera superior que filtraba los rayos ultravioleta, como lo hace ahora el ozono. Cuando apareció el oxígeno por primera vez —aunque no hubiera suficiente ozono ni metano que impidiera la llegada de más rayos ultravioleta—, la vida continuó. No creo que los rayos ultravioleta sean tan perjudiciales como se suele decir. La diferencia del caudal de rayos ultravioleta entre Inglaterra, España o las tierras altas de África como Kenia es de casi ocho veces. Esos rayos son ocho veces más intensos en Kenia y nadie ha oído hablar de tratamientos allí por quemaduras solares. Nadie. La vida sigue. Es fácil acostumbrarse.

E.P. Entonces es previsible concebir un desastre como la desaparición de la capa de ozono y que se sustituya por otra cosa. La Tierra encontrará una salida.

J.L. La Tierra sí. El problema es que si la capa de ozono desapareciera ahora los más afectados serían los humanos. El resto de la vida en el planeta se adaptaría a las nuevas circunstancias rápidamente, pero nosotros tenemos la piel muy clara y somos muy sensibles a las quemaduras solares.

No creo que en la historia de la evolución se haya dado un acontecimiento más espectacular e insólito que la oxigenación de toda la atmósfera por unos organismos microscópicos como las cianobacterias. Cuesta creer —al verlas deslizarse en su medio acuoso vestidas elegantemente de verde— que a ellas debamos la vida o, lo que es lo mismo, el aire que respiramos. Hasta que no terminaron el trabajo de oxigenar un 21 por ciento de la atmósfera no pudo entrar el resto de nosotros. Las cianobacterias constituyen el primer testigo fidedigno de que —como sugirió Lovelock hace más de treinta años— la vida se hace cargo de todo y controla la evolución.

El otro ejemplo son las lombrices de tierra. No habría alimentos agrícolas ni agricultura sostenible sin que ellas hubieran removido la tierra miles de años antes. Fueron el mejor arado mucho antes de que los humanos inventaran esta herramienta. Su papel fue vital en la aireación del suelo, según predijo Charles Darwin en su último libro publicado en 1881: La formación de la tierra vegetal por la acción de las lombrices. *Darwin estimó que entre seis y ocho toneladas de tierra seca por hectárea pasan anualmente a través de los intestinos de estos pequeños animales, llevando potasio hacia la superficie, fosfato al subsuelo y agregando productos nitrogenados de su metabolismo. Pero ya antes de Darwin se había reconocido la importancia de las lombrices en la conservación de los campos de cultivo. En el Antiguo Egipto, donde se dependía de la fertilidad del valle del Nilo para sobrevivir, los faraones castigaban a aquellos que dañaran a las lombrices. Aristóteles habló de ellas como «los intestinos de la tierra».*

La actividad de las lombrices facilita una mayor absorción de la lluvia, por lo que aumentan las aguas subterráneas y el suelo se mantiene húmedo más tiempo, permitiendo una mayor variedad de cosechas. Además, si se plantan árboles se puede reducir la temperatura del suelo entre diez y quince grados. Todo esto favorece la presencia de bacterias y otros organismos que completan el ciclo de descomposición de la materia orgánica, por lo que el área de cultivo se mantiene en mejores condiciones: la tierra es menos compacta y tienes más nutrientes. Más allá de la conservación de los suelos, la actividad de las lombrices puede convertir una zona árida y casi inerte en una rica pradera en un periodo de unos treinta años.

E.P. Los astronautas vieron la Tierra desde el espacio con sus propios ojos, y yo vi las fotografías. ¿Cómo lo viste tú?

J.L. Tuve mucha suerte. En aquella época trabajaba en el Jet Propulsion Laboratory de California. Pude observar la Tierra, Marte y Venus a través de ojos científicos muy especiales: los telescopios de infrarrojos. Obtuve datos sobre la composición de las atmósferas de los tres planetas y pude darme cuenta de las diferencias extraordinarias

que existen entre nuestro planeta, Venus y Marte. Las atmósferas de estos últimos están cubiertas casi por completo por dióxido de carbono y otros pocos gases muy cercanos a lo que los químicos llamamos «estado de equilibrio». Pude predecir que no tenían vida. La Tierra, en cambio, tiene una atmósfera en la que los gases combustibles como el metano se mezclan con el oxígeno; es una atmósfera casi inflamable. Si fuera algo distinta, explotaría. Es una atmósfera muy frágil y, sin embargo, perdura durante miles de millones de años. ¿Cómo es posible? Esta pregunta me asalta una y otra vez. Se requiere que exista algo en la Tierra que regule la atmósfera y la mantenga constante.

E.P. Lo fascinante es que tantas cosas dependan sólo de esta capa delgadísima de la atmósfera característica de este lugar.

J.L. Ocurre lo mismo cuando miras a una persona. Cuando te miro a ti sólo veo tu cara, todo el mecanismo interno de tu cuerpo es invisible a mis ojos. Ocurre igual con la Tierra: la atmósfera es lo que se ve.

E.P. Si Marte es realmente distinto, entiendo por qué hace ya más de treinta años tú decías que no era necesario enviar robots allí para saber si había agua o vida. Bastaba con observar su atmósfera y constatar que estaba en equilibrio y que no tenía nada que ver con la atmósfera de la Tierra.

J.L. Así es. Pero siempre aprendes algo con el tiempo. Yo diría ahora que la Tierra es un planeta vivo, vivo en el sentido de que se regula a sí mismo igual que tú, yo o un animal. Marte es un planeta muerto, es como el cadáver de alguien que sabemos que dejó de existir.

E.P. El concepto de vida es muy importante para todos nosotros. Pero cuando tú dices que el planeta está vivo, quiere decir que para ti es todavía más importante. Tú tienes que tener una idea más precisa de lo que es la vida.

J.L. Soy científico, pero ya sabes que pertenecemos a tribus distintas: biólogos, físicos, químicos, etc. Y si se lo preguntas a cada uno de ellos, todos te darán una respuesta distinta. El biólogo dirá que la vida es algo que se reproduce a sí misma y que los errores en la replicación los corrige la selección natural; es lo único que quiere saber de la vida. El químico te dirá que la vida es algo que se metaboliza, que toma

elementos químicos del entorno, los procesa y, en cierto modo, los devuelve. Y un físico no dirá nada de todo eso. «La vida es un sistema que funciona como un frigorífico: coge energía libre y se construye a sí misma en forma de estructura disipativa».

E.P. Pero ¿cómo empezó todo? ¿Desde lo inorgánico, lo inmaterial? ¿O a partir de cristales que se observaron y empezaron a replicarse? Tú dijiste en algún momento que la primera cianobacteria ya tenía instrucciones precisas para sobrevivir en su entorno. ¿Quién le dio esas primeras instrucciones?

J.L. No tengo ni idea. Y no creo que nadie más lo sepa tampoco. Sigue siendo uno de esos grandes interrogantes para los que no tenemos respuesta todavía. A mis amigos del mundo cientificoacadémico les encanta especular sobre qué había antes del Big Bang, o sobre cómo se formó la vida en la Tierra en los tiempos primordiales. Hasta ahora no lo sabemos, salvo —y eso es muy importante— que somos muy afortunados de formar parte de un Universo que se organiza a sí mismo. Donde quiera que existan flujos de energía como la luz solar procedente de una estrella, se forman sistemas y estructuras que viven, sobreviven un tiempo y se extinguen de nuevo. La vida es uno de esos sistemas, pero distinto de los demás porque es casi inmortal, y la razón de que sea casi inmortal es que puede transmitir de una generación a otra el conocimiento de lo que hay que hacer.

E.P. Si ocurriera algo catastrófico y perdiéramos esa facultad para transmitir a otros el conocimiento genético, ¿crees que todo volvería a empezar de nuevo?

J.L. Creo que es demasiado tarde para este planeta. Gaia existe ahora desde hace tres o cuatro mil millones de años, pero se calcula que apenas le quedan mil millones de años más antes de morir. Es una señora mayor. ¡Se parece a mí, que casi tengo ochenta años! Todavía podemos dar guerra, pero las cosas ya están empezando a deteriorarse… No se puede olvidar.

E.P. Podemos, pues, hablar de la senectud del planeta. ¿Hemos superado la línea divisoria entre la juventud y la vejez? ¿La hemos cruzado ya? ¿Ha traspasado Gaia el dintel?

J.L. Así es. Estamos hablando de una señora mayor que merece respeto.

E.P. Somos tan ignorantes y descuidados que estamos llenando la Tierra de lluvia ácida, provocamos mediante el efecto invernadero el calentamiento del planeta, los cambios térmicos conllevan la subida del nivel del mar y la desaparición de las ciudades costeras. Contemplamos impávidos cómo se agranda el agujero de la capa de ozono. El dióxido de carbono en la atmósfera aumenta y ahora no tenemos la excusa de no saber por qué se murió Marte. Todos estamos de acuerdo en que pueden ocurrir cosas terribles si no cambiamos. Asumamos por un momento que te equivocas y que no fuera demasiado tarde, ¿se puede hacer algo?

J.L. Se puede hacer algo si entendemos que la Tierra es un planeta vivo y habitable. No se puede labrar todo el suelo para alimentar a la gente, porque una parte muy importante de la superficie de la Tierra se necesita para proteger el medio ambiente y mantener el aire adecuado que nos permita respirar. La destrucción de la selva amazónica afecta al clima y al bienestar del mundo entero. Sólo pensamos en la humanidad. Cuando empecemos a pensar en la Tierra como un lugar vivo, constataremos que no se puede pensar sólo en la humanidad: vivimos en un siglo en el que los derechos humanos han estado en el centro de todas las preocupaciones. Seguimos creyendo que lo más importante es beneficiar a la humanidad. Yo digo que se trata de un planteamiento erróneo: primero deberíamos preocuparnos de la Tierra porque dependemos totalmente de ella. Y si no lo hacemos, toda la humanidad sufrirá.

E.P. Dime cosas concretas que podamos hacer para impedirlo.

J.L. Por ejemplo, obtener mucha más comida a partir de la industria química o bioquímica. Sólo necesitamos de forma muy limitada el suelo para producir alimentos. Se podrían recuperar las grandes selvas del planeta para que pudieran cumplir su función de regenerar el aire y conseguir que el planeta vuelva a ser un lugar apto para vivir. Hay salidas. Pero son salidas basadas en la tecnología, no en su abandono. Algunos ecologistas se equivocan cuando dicen que no se resolverán los problemas hasta que dejemos de desplazarnos en coche, quemar

combustibles o comer alimentos transgénicos. Imagina un grupo de ecologistas sobrevolando el Atlántico con un jumbo y que, súbitamente, se dan cuenta de que están expulsando cantidades de dióxido de carbono a la atmósfera. Los pasajeros deciden enviar una delegación al piloto y le conminan a que apague los motores y deje que el avión planee: seguro que no funcionaría.

James Lovelock es —junto con Edward O. Wilson, cuyas impresiones desde Harvard el lector encontrará también en este capítulo— el conservacionista y ecólogo más emblemático de una generación de científicos precursores. Los dos rondan los ochenta años, los dos se enfrentaron al consenso científico de su generación, a los dos se les marginó un tiempo, pero difícilmente se les puede menospreciar porque son dos mentes excepcionales y rigurosamente científicas; los dos han tenido, más fuera que dentro de los claustros académicos, numerosos seguidores —una gran parte jóvenes— que conocían su intención y compartían su independencia feroz, pero muy poco de sus métodos y de la lógica de su pensamiento. «Si estamos en un jumbo necesitamos combustible para no caernos» y, efectivamente, no hay soluciones simplistas para que perdure un fenómeno complejo como la vida. Por ello, tanto Lovelock como Wilson están convencidos de que, socialmente, siguen imperando las estructuras tribales. Y por ello, muy probablemente, seguirán siendo los dos una especie de colosos exiliados hasta que desaparezcan.

J.L. Pienso, también, desde un punto de vista práctico, que lo mejor es perderle el miedo a la energía nuclear. Entiendo que si hubiésemos tenido razones de peso para temer la guerra nuclear, no hubiera sido tan destructiva para la civilización. Pero la energía nuclear es buena: es la única fuente de energía que no daña la atmósfera. No provoca daños. Sólo supone una amenaza para las personas, pero no para la Tierra. Si volviéramos doscientos años atrás, cuando sólo éramos mil millones de personas, nos podríamos haber salvado con las energías renovables, la agricultura biológica, las medicinas alternativas y todo lo demás. Hubiésemos podido hacer lo que hubiéramos querido, pero ahora

tenemos que pagar el precio de haber superado los seis mil millones de personas. Ejercemos tanta presión sobre la Tierra que nos vemos obligados a recurrir a la tecnología para alimentarnos y mantenernos. Te voy a dar otro ejemplo de cosas que se pueden hacer y que se hacen mal. Cuando yo llegué a esta casa hace veintisiete años, este río estaba tan lleno de salmones y truchas que contratamos a un vigilante para que no se los llevaran los domingueros. Pero vinieron los ecologistas y dijeron a los agricultores: «No pongáis nitratos en vuestros huertos porque son perjudiciales para las personas». Entonces, los agricultores decidieron sustituir los nitratos por estiércol y cuando cubrieron los campos de estiércol y purines la lluvia los arrastró al río y mató a los peces. Hoy, el río prácticamente no tiene vida. El problema con las ideas de los verdes es que son bienintencionados, pero nunca piensan en las consecuencias.

E.P. Abandonemos la poca agricultura que queda y recurramos a la producción química para hacer frente al crecimiento demográfico. El problema de los residuos tal vez sea insalvable para las personas, pero no sucede así con el planeta, que puede solventarlo. Recurramos, por tanto, a la energía nuclear durante un tiempo. ¿Qué más?

J.L. Será necesario impregnarse de un nuevo espíritu. En tiempos de guerra las tribus se unen y hacen grandes sacrificios, llegan a ofrecer sus vidas por la causa. Si la gente llegara a pensar en la Tierra como en su hogar en peligro, tal vez se comportaría con sensatez. Las cosas pueden ponerse muy feas, imagínate que una ciudad como Londres se inunda y sea inhabitable a causa de la subida del nivel del mar. Si dejáramos de quemar combustibles fósiles ahora, el mar seguiría creciendo durante cincuenta años más, pero no crecería tanto como ahora y tal vez nos daría tiempo de retirarnos de las zonas costeras. La gente se uniría como en tiempos de guerra y aceptarán hacer sacrificios en aras de la comunidad. Ahora es inútil aconsejarle a la gente que no coja el coche porque es lesivo para el medio ambiente; creen que su trabajo es más importante. En tiempos de guerra las cosas son distintas.

No somos un superorganismo

Edward O. Wilson

«Nosotros somos el meteorito destructor.»

Edward O. Wilson tiene su despacho en el piso más bello del Museo de Ciencias Naturales de la Universidad de Harvard. Rodeado de fotografías de hormigueros —a cuyo estudio ha dedicado gran parte de su vida académica—, ha llegado a la conclusión, para él irrefutable, de que sólo una cosa separa a los humanos de un superorganismo como el de las hormigas, las avispas o las termitas: los homínidos nunca renuncian totalmente a la defensa de su individualidad en aras del interés general del enjambre o, en su caso, de la comunidad.

EDUARDO PUNSET. Durante miles de millones de años la vida ha sido más o menos predecible, tanto que los científicos habéis podido desarrollar modelos de vida. Tú mismo decías que podría haber bacterias en cualquier lugar de la Tierra y que si hubiera agua para poder nadar aparecerían enseguida unos pequeños protozoos que lo invadirían todo como predadores. Y analizando la evolución se pueden prefigurar leyes. Tomemos el espacio: cuanto más grande es el espacio mayor es el animal. Y cuanto más estable es el clima, más especies hay. En los próximos mil años, ¿podremos predecir la vida y sus modelos de la misma manera? ¿Qué ha sucedido con los modelos de vida?

EDWARD O. WILSON. La gran imagen de la evolución de la vida en la Tierra ha sido una expansión regular: desde el principio, con unos organismos unicelulares simples muy pequeños, hace más de tres mil quinientos millones de años, hasta la actualidad; de las aguas marinas a la tierra, el agua dulce y el aire. De manera que hoy se encuentra la

vida en cualquier lugar concebible: donde sea que haya agua, o la promesa de agua, hay vida —como mínimo en forma de bacterias u hongos microscópicos—. Hay vida de polo a polo, desde la Antártida hasta el casquete del polo Norte, desde la cima del Everest hasta las profundidades del Challenger a doce mil metros de la superficie del mar. Éste es uno de los grandes modelos: que la vida envuelve a todo el planeta, en cada forma concebible de hábitat. Y otro modelo importante en la evolución de la vida y en ese inmenso periodo de tiempo tan grande es la expansión regular y la diversidad de las formas de vida. Desde un pequeño número de especies —si es que se puede llamar especies a esos organismos— a hoy, hay una cantidad desconocida de especies. Sabemos que hay entre 1,5 y 1,8 millones de especies conocidas, identificadas y con un nombre científico, pero la estimación del número de especies de la Tierra…

E.P. Puede ser de diez millones.

E.W. Varía entre 3,5 y 100 millones. Nadie lo sabe porque sabemos muy poco sobre las bacterias, que son los organismos más pequeños que nos rodean.

E.P. Y esta diversificación de las especies no es nada fácil de comprender, ya que todos arrancamos de unas pocas. ¿Y cómo demonios nos encontramos con tal diversidad en este cuadro casi clónico? ¿Cuáles son los motivos para la multiplicación de las especies? ¿Quién las ha empujado a crearse?

E.W. Comprendemos bastante bien cuáles son los factores que han determinado la aparición de cierto número de especies halladas en un lugar en particular de la Tierra. La forma más fácil de recordarlas es con las letras ESA. Para empezar, E de energía: cuanta más energía se tiene —sobre todo solar— más especies se pueden mantener: más energía, más especies. Éste es el motivo por el cual se encuentran más especies en las regiones del ecuador, sobre todo en las zonas tropicales, las más húmedas de la selva tropical, los bosques húmedos. La S significa estabilidad. Cuanto más tiempo un área ha sido la misma, según el número de millones de años que un área ha permanecido igual y no ha cambiado, se encuentran más especies. Como la evolución

continúa, las especies se ajustan muy bien no sólo al entorno, sino entre ellas por la simbiosis, cuando se combinan entre ellas en sistemas y se convierten en estables. Éste es el motivo del factor estabilidad, y es por él que el lecho marino, que está a miles de metros de profundidad y sometido a una oscuridad completa, está habitado por un gran número de especies a pesar de la falta de energía, porque todo es estable, ha permanecido igual durante millones de años. Y la A significa área: cuanta más área más especies pueden vivir de forma sostenible. De manera que en una isla muy pequeña de las Antillas, de un par de kilómetros cuadrados, puede que no haya más que tres o cuatro tipos de lagartos, una especie de reptiles. Una isla de tamaño mediano como Jamaica o Puerto Rico, puede que tenga veinte o treinta, pero una isla más grande como Cuba, puede que tenga cien. Éste es un factor importante: cuanto más grande sea el área en que pueden habitar las especies más número de especies pueden vivir.

E.P. De manera que ha llegado el momento en que, a pesar de haber grandes áreas y energía disponibles, nos encontramos en un cuello de botella, en el sentido de que ha habido un aumento de la población y un mayor consumo de energía. Tú mismo has dicho que si el resto del mundo alcanzara los niveles de consumo de Estados Unidos, con la tecnología que tenemos, se necesitarían no uno, sino cuatro planetas como el nuestro. ¿En qué punto nos encontramos?

E.W. Durante los últimos cuatrocientos cincuenta millones de años ha habido grandes extinciones y conocemos muy bien una de ellas: la que sucedió en la época de los dinosaurios hace sesenta y cinco millones años, debida a un meteorito gigante. La extinción más grande se produjo durante el periodo Pérmico, hace cientos de millones años, y es posible que también fuera debido a un meteorito. De forma que la vida se expande continuamente, y luego se elimina en gran parte. Esto ocurre a grandes rasgos cada cien millones de años, y después cuesta diez millones de años restaurar la diversidad y continuar. Una de las grandes extinciones, la que sucedió hace sesenta y cinco millones de años, fue precedida por una expansión enorme de vida que produjo lo que nosotros conocemos ahora como los mamíferos —entre los que

nos incluimos—, los insectos —que se expandieron enormemente— y las plantas con flores que reemplazaron a las coníferas, como los pinos y los abetos.

E.P. Has dicho que cuesta diez millones de años recuperarse.

E.W. Diez millones de años después de un periodo de gran extinción. Y lo que estoy diciendo es que probablemente de diez a veinte mil años antes de que los seres humanos se establecieran por completo en el planeta, hubo una revolución agrícola que permitió que la población se consolidara. Es posible que la vida de hace diez o veinte mil años tuviera su pico de diversidad, y entonces aparecimos nosotros, que somos el gran meteorito.

E.P. Nosotros somos el meteorito.

E.W. Sí, lo somos. En la actualidad estamos reduciendo la diversidad y nos encontramos ante la sexta extinción, en las primeras etapas. Y esto nos lleva a la idea del cuello de botella de la que tanto he escrito. El cuello de botella es la superpoblación de humanos, ya que muchos humanos destruyen gran parte del entorno natural y las especies para poder mantenerse. También está relacionado con el aumento del consumo per cápita, ya que las personas, en todo el mundo, están aumentando la cantidad de alimentos y de productos que consumen. La combinación de un aumento de la población y del consumo personal lleva a la eliminación de lo que se puede llamar el capital natural del mundo. Hemos heredado un cierto capital natural del mundo, una herencia de naturaleza económica que forma parte de una economía de mercado que ahora estamos usando y destruyendo. La idea del cuello de botella tiene un elemento de esperanza basado en el hecho de que, aunque ahora hay más de seis mil trescientos millones de personas en el mundo, el índice de crecimiento está disminuyendo. Parece ser que las mujeres, en cuanto tienen una cierta educación e independencia, optan por la posibilidad de determinar su propia vida y los hijos que quieren tener…

E.P. En lugar de tener más han decidido tener menos…

E.W. Han optado por la calidad y han decidido tener pocos hijos, en vez de una gran cantidad que se esparce como los árboles o las semillas de un árbol. Y moviéndose en esta dirección, las mujeres de todo el mundo, y especialmente las de los países industrializados de Europa, Estados Unidos y ahora Asia, están disminuyendo el índice de fertilidad y de nacimientos a un nivel inferior a lo que denominamos el punto de ruptura, que es un poco más de dos hijos por mujer. Cuando se alcanza esto se llega a un índice cero de crecimiento de la población. Es por esto que las Naciones Unidas pueden vaticinar que llegaremos a un máximo de nueve mil millones de personas, que sigue siendo casi el doble de lo que tenemos ahora.

E.P. Y sólo entonces podremos superar el cuello de botella.

E.W. Pero el problema es cómo hacerlo sin destruir el planeta Tierra y sin destruir gran parte del resto de la vida, que es lo que estamos haciendo.

E.P. A menudo mencionas que nuestro cerebro tiene algo que ver con el cuello de botella. De hecho tú has dicho las dos cosas: que hay una sorprendente indiferencia del cerebro hacia el entorno, hacia la protección de las especies, ya que nuestro cerebro se preocupa por un área geográfica muy pequeña, y está demasiado preocupado sólo por familiares próximos y tiene una perspectiva muy reducida, de una, dos o tres generaciones. Dices, por otra parte, que el cerebro da muestras de ¿biofilia?… el echar de menos a la naturaleza, ¿es así?

E.W. Gran parte de esta dificultad tan grande para salir del cuello de botella se debe al gran nivel de consumismo en el mundo industrializado. Y Estados Unidos está a la cabeza del consumo. Se ha estimado que para que todas las personas del mundo —unos seis mil millones— puedan vivir al mismo nivel de consumismo que tienen los estadounidenses, se necesitarían cuatro planetas más como la Tierra. Esto nos pone ante el gran problema de mantener o mejorar la calidad de vida, a la vez que reducimos el consumo. Éste es el gran reto tecnológico al que se enfrenta la humanidad en la actualidad. La tendencia a consumir en exceso y de forma agresiva y competitiva en todo el mundo se debe a que el cerebro está hecho así, es decir que, en parte, es una muestra de la naturaleza del ser humano. Es indiscutible que estamos

influenciados por nuestra naturaleza biológica. Un rasgo de la naturaleza humana es la tendencia de las mujeres a rebajar el índice de fertilidad cuando son independientes, es una calidad de la naturaleza humana providencial y maravillosa. Otra es pensar sólo a corto plazo: como mucho, cuando pensamos en el futuro, pensamos en la próxima generación y sólo en un espacio muy pequeño, a lo sumo, en nuestra propia comunidad y como mucho en nuestro país. El resultado es que cometemos unos errores terribles en los campos de la planificación económica y de recursos. También es muy fácil comenzar una guerra y tener un comportamiento agresivo, debido a esta poca visión. Tenemos que superar esto, y la mejor forma de hacerlo es comprendiéndonos. Es decir, el planteamiento actual es el subproducto del pasado: se debe al hecho de que era un tipo de conducta muy beneficioso cuando la humanidad estaba evolucionando y vivíamos en pequeñas bandas y tribus por todo el mundo. Desde una perspectiva darwiniana, era una cuestión de supervivencia y reproducción y era muy inteligente. Si sólo pensamos a corto plazo, hay que hacer las cosas bien y sobrevivir hasta mañana, enfrentarse a los enemigos que nos rodean. Ahora que tenemos más conocimiento y sabemos más, sobre todo teniendo claro lo que esto está produciendo a escala global, deberíamos superarlo. También podemos superar nuestra tendencia a destruir a otros organismos y la biosfera que nos soporta. Si nos damos cuenta de que somos unos Hitlers, incluso si no nos importan las dos o tres generaciones siguientes, estamos perdiendo algo que es muy importante para el espíritu humano, para el alma, ¿puedo utilizar esta palabra? Porque de todo lo que sabemos sobre la evolución de la humanidad y de todas las criaturas, es lógico esperar que, si como seres humanos evolucionamos en un hábitat en particular, en la sabana o en el bosque tropical, también adquirimos un programa en el cerebro, un instinto de gusto hacia ese entorno…

E.P. Es lo que llamas la biofilia.

E.W. Sí, la biofilia, eso es. Hay muchas pruebas a favor de la idea de biofilia, de nuestra tendencia a dirigirnos hacia y disfrutar del entorno y el resto de la vida. De hecho hemos andado un largo camino hasta

ser capaces de poderlo disfrutar, de tenerlo a nuestra disposición, incluso de ir y vivir allí.

E.P. Y también hay, esperemos, este orgullo o placer de compartir los mismos genes con tantas especies. Creo que has escrito que el resto de la vida es el cuerpo y nosotros somos la mente, y que estamos para protegerla. ¿Tienes confianza, después de luchar durante tantos años? Tu primer gran libro ya decía que el comportamiento estaba basado en la biología y la naturaleza, y de eso hace treinta años…

E.W. Casi treinta años…

E.P. Y ¿tienes confianza en que esta biofilia, este placer de compartir genes comunes, comportará un cambio cultural en los seres humanos?

E.W. Yo creo que sí. Creo que la comprensión del origen de los seres humanos y la naturaleza humana como parte de nuestra investigación de cómo funciona la mente revelará que tenemos unas necesidades psicológicas profundas, y que no sólo desarrollamos ciertas relaciones entre nosotros, sino también con el resto de la vida.

E.P. Un planteamiento que se encuentra también en tu forma de pensar y que encuentro muy interesante es cuando intentas explicar, o recordar, que la conservación del medio ambiente no es contraria a las leyes de la economía. Dices: «Démonos cuenta de lo que estamos abandonando y que ahora es gratis: el enriquecimiento del suelo, la regulación del clima», ¿y qué más?

E.W. O del aire mismo que respiramos y que nos lo ofrece el resto de la vida.

E.P. Y probablemente es mucho más grande que cualquier crecimiento…

E.W. De hecho, hace muchos años un equipo de economistas y biólogos intentaron estimar el valor en dólares del mundo natural que destruimos: el agua, el aire, el suelo, etc. Y la cantidad que obtuvieron fue treinta y tres trillones de dólares al año.

E.P. ¡Trillones!

E.W. Trillones con T: mil billones americanos (un billón americano son mil millones en la nomenclatura europea). Equivale al producto bruto mundial; es decir, la producción humana en términos económicos para todo el mundo. Y se nos ofrece de forma completamente gratuita, y al

destruir el mundo natural hay que reemplazarlo con nuestra propia máquina económica, en otras palabras, cuando destruimos un bosque o una reserva de agua que se nos ofrece…

E.P. Gratis…

E.W. Agua gratuita que destruimos, cosa que sucede en todo el mundo, entonces tenemos que reemplazarla con dispositivos de filtración y eso cuesta millones, cientos de millones de dólares. Paso a paso lo que estamos haciendo es convertir el planeta Tierra —literalmente— en una nave espacial, donde nosotros como especie no podemos relajarnos, no podemos sentarnos y dejar que la naturaleza nos suministre todos esos servicios. Tenemos que estar como si viviéramos en el espacio, en un vehículo espacial, siempre arreglando, midiendo, discutiendo para poder hacer que las cosas funcionen. Es de locos.

E.P. El bienestar automático se ha destruido y cualquier bienestar futuro tendrá que conseguirse con mucho trabajo y una gestión constante, incluso de nuestra propia fecundación. Si la extinción ocurre de forma global, de la forma en que estamos hablando, ¿dónde crees que se deberían concentrar los esfuerzos de conservación? Porque seamos modestos al respecto: a corto plazo no habrá un cambio suficiente de la cultura en general para que se produzca un giro significativo. De manera que si tuvieras que concentrar los esfuerzos de conservación para los próximos años, ¿hacia dónde los dirigirías?

E.W. Sabemos con exactitud cómo hacerlo. Llevo años afiliado a varias de las organizaciones globales de conservación de la naturaleza, como World Wildlife Found o The Nature Conservancy, y todo lo que ahí hacemos es pensar en eso. Con el dinero que recaudamos —y cada una de estas organizaciones tiene un presupuesto de cien millones de dólares al año, de manera que empiezan a ser eficaces, aunque se necesita mucho más— intentamos salvar la mayor cantidad de biodiversidad, de especies, mantenerlas para evitar que se extingan. Como estas especies tienen más de un millón de años, o todavía más, no vamos a poder reemplazarlas: si se extinguen no se volverán a ver, se perderán para la mente humana. La mejor forma de concentrar nuestros esfuerzos es dirigirlos a los países en vías de desarrollo, y en

particular a los que tienen humedad o selvas tropicales, ya que más de la mitad de las especies de plantas y animales que hay en la Tierra se encuentran en la selva tropical, que cubre sólo el 6 por ciento de la superficie de la Tierra…

E.P. ¿Y reúnen al 40 por ciento de todas las especies?

E.W. Hay lugares, llamados *hot spots* (puntos calientes), que se encuentran dentro de estas áreas más grandes —no siempre en la selva tropical, pero sí muchas veces— y que cubren sólo el 1 por ciento de la superficie de la Tierra. Piénsalo: un 1,4 por ciento de la superficie de la Tierra. Pero si sabemos exactamente dónde están y se salvan, entonces podremos salvar hasta un 40 por ciento o más de todas las plantas y los animales de la Tierra. Si añadimos a esto las áreas centrales del resto de tierras salvajes, que son áreas enormes de selva tropical y de sabana, el Amazonas y la cuenca del Amazonas, la cuenca del Congo en África y Nueva Guinea, si añadimos estas áreas centrales a las aproximadamente veinticinco áreas que son puntos calientes y que cubren el 1,5 por ciento de la superficie de la Tierra… hay que pensar en estos términos. Recientemente hemos estimado el coste aproximado: vale veintiocho mil millones de dólares, y puede hacerse.

E.P. Y sobre los superorganismos, ¿cuáles son las diferencias —si es que existen— entre tu idea de superorganismo —dices que los humanos somos parte de un superorganismo— y el concepto de Gaia como planeta que también es un superorganismo autorregulable?

E.W. La especie humana no es un superorganismo ni la sociedad humana tampoco. Son sociedades de mamíferos que se han desarrollado gracias a la inteligencia, las estipulaciones de contratos y el lenguaje, gracias a la habilidad de cooperar incluso para preservar y mejorar su propio interés.

E.P. Y su individualidad.

E.W. Correcto. Estoy acabando un libro sobre el superorganismo y he tenido más tiempo para analizarlo, y saber qué es de verdad un superorganismo y qué es la humanidad. Una colonia de hormigas es un superorganismo. Son increíbles, sobre todo algunas de ellas. Son una

creación maravillosa, puesto que tienen una serie de comportamientos muy complejos por medio de los cuales cooperan los miembros de la comunidad. Utilizan de diez a veinte tipos de señales químicas…

E.P. Feromonas…

E.W. Feromonas, que los miembros de la colonia huelen y prueban, y puede que tengan hasta cincuenta mensajes que surgen de combinaciones de feromonas. Tienen formas múltiples, de individuos que forman grupos que realizan muy bien una función y no tan bien otras. Y todo esto se presenta reunido, de forma que generación tras generación las colonias de hormigas de ciertas especies siempre son iguales, porque el cerebro de una hormiga está programado, casi por completo, para realizar cierto tipo de comunicaciones y el trabajo de una manera determinada. Y para que los individuos estén categorizados por la función de su trabajo para que la colonia sobreviva: la unidad es la colonia. La evolución continúa por la competición de una colonia contra otra colonia. Uno de los resultados de esto es que se tiene un cierto grado de armonía y cooperación entre los individuos de una colonia. Ahora bien, las colonias siempre están en guerra entre ellas. Las hormigas son las criaturas más belicosas del planeta. Yo digo que si se les diera a las hormigas armas nucleares habrían volado el mundo en una semana. Comparemos las hormigas con los humanos…

E.P. ¿Qué pasa con los seres humanos?

E.W. Las hormigas empezaron a existir hace unos ciento diez millones de años, en la época de los dinosaurios. Recientemente hemos hallado fósiles no sólo de las primeras hormigas, sino también de las hormigas de hace cincuenta o sesenta millones de años. Esto es mucho tiempo, y sin embargo las hormigas son exactamente iguales. No ha habido mucha evolución. Hubo bastante al principio, pero no en los últimos cincuenta millones de años, siguen igual, con los mismos códigos, los mismos modelos…

E.P. Quizás es porque son eficientes.

E.W. El comportamiento se ha hecho más complicado. Vamos a analizar a los seres humanos: si consideramos a nuestros ancestros más inmediatos, a los homínidos, que ya se mantenían erguidos y utilizaban

herramientas, lo que significa un avance respecto a los monos, sólo llevamos en la Tierra unos cinco millones de años. Es muy poco tiempo. Y sin embargo, una vez que se llega al estadio del *Homo sapiens*, a la especie humana actual, la evolución del cerebro es, entre las evoluciones estudiadas, una de las más rápidas de todos los tiempos. De manera que algo sucedió que convirtió a estos primates en lo que ahora reconocemos como humanos. Y en el proceso no nos convertimos en seres como las hormigas, sino que seguimos siendo mamíferos independientes: cada ser humano trabaja por su propio interés. Y esta individualidad y creatividad se conserva. De manera que la sociedad humana, a diferencia de la de las hormigas, está basada en parte en el instinto; tenemos mucho instinto: la naturaleza humana determina mucho nuestras emociones y aquello que nos parece satisfactorio. A parte de estas orientaciones, hemos creado nuestras sociedades y civilizaciones por medio de contratos a largo plazo, acuerdos que consideramos sagrados. Entre unos y otros hemos constituido acuerdos, relaciones, contratos… y así es como lo hacemos, pero…

E.P. Perdona que te interrumpa pero ¿esto lo heredamos de los primates sociales? Es decir, ¿en los primates sociales se dan acuerdos similares que nosotros desarrollamos?

E.W. Sí, se dan de forma rudimentaria, particularmente en los grandes monos, los sociales: los chimpancés y los gorilas. Y especialmente en los gorilas y los bonobos, que son unos chimpancés muy avanzados. Tienen los rudimentos de lo que nosotros reconocemos como una forma humana de contrato y acuerdo, de coaliciones, incluso de conciencia, tienen el sentimiento de culpabilidad y…

E.P. De castigo…

E.W. De manera que hemos creado una civilización a partir de esto. Es decir, que incluso en el nivel actual de evolución, aunque sigamos actuando como una colonia de hormigas que puede ir a la guerra, nuestra capacidad de formar un orden social y avanzar muy

rápidamente en el conocimiento y la tecnología dentro de la sociedad nos otorga grandes esperanzas de poder eliminar las peores características de las colonias humanas…

E.P. De hormigas.

E.W. Sí, de quitarse de encima los últimos vestigios de nuestro comportamiento parecido al de las hormigas. Ésta es la diferencia. Pero claro, a las pobres hormigas hay que comprenderlas, sobre todo si pensamos que en un día hay aproximadamente entre mil y diez mil trillones (miles de miles de billones) de hormigas vivas. Y si pensamos además que una hormiga pesa una millonésima parte de un ser humano: un millón de hormigas pesan lo mismo que un ser humano, lo que sucede es que todas las hormigas que hay en el mundo pesan aproximadamente lo mismo que todos los humanos juntos. Y el cerebro de una hormiga es sólo una millonésima parte del cerebro de un ser humano, de manera que hay que admirar a las hormigas, sobre todo si analizamos lo que han llegado a conseguir con su cerebro; si lo extraes y lo analizas, ni siquiera se puede ver, es como una mota de polvo. O sea que han conseguido cosas increíbles, pero sin embargo han avanzado poco en los últimos cincuenta millones de años.

E.P. Has escrito algo muy intrigante, que me ha despertado tanto la curiosidad que lo citaré, y te ruego que me digas qué quiere decir exactamente: «Sólo cuando la mecánica del cerebro se pueda poner sobre el papel, como lo hacemos con la célula, y podamos volverla a reconstruir a partir de lo que hay sobre el papel, se aclararán las propiedades de las emociones y del juicio ético». ¿Qué quieres decir exactamente?, ¿qué esperas?

E.W. Hay dos niveles de ciencia. Uno es la descripción exacta del comportamiento y el pensamiento, pero en el siguiente nivel de la ciencia hay que tomar este conjunto de fenómenos tan complicados e intentar reducirlos a sus elementos y procesos básicos. Y a continuación intentar entender cómo se acoplan para formar la unidad. Cada ciencia es un ciclo constante de reducción y de síntesis. Y una ciencia madura implica el proceso de reducción y, por lo menos, un poco de síntesis que la sigue. El verdadero científico cree —quizá no

lo compartan muchos académicos de la rama de las humanidades o los teólogos— que la mente es un producto del cerebro, que no están separados y no son no-físicos. Así podremos entender la mente de la misma manera que entendemos los métodos de las ciencias naturales.

E.P. Respecto a la posibilidad de poder intervenir en el cerebro como ya intervenimos en la célula, de penetrar en la potencialidad interna del cerebro, ¿cabe la posibilidad de fusionar la máquina con el cerebro? Ya sabes que estamos entrando en la era del control biológico y así podríamos cambiar todo nuestro entorno y evitar el cuello de botella.

E.W. En la actualidad es muy popular entre los científicos y los que piensan en el futuro tecnológico la idea de que podemos igualar y unir el cerebro con los adelantos más avanzados de computación, e incluso simular los sentimientos y las emociones por medio de una máquina. Nos gusta creer que un día se desarrollará una inteligencia superinteligente —sin perder la individualidad— que será un cerebro humano unido a una habilidad de computación muy elevada. Esto puede ocurrir en el futuro, pero no creo que destruya nuestra humanidad si lo gestionamos de forma correcta. De manera que ¿podrá esta superinteligencia salvarnos y ayudarnos a solucionar los problemas más rápidamente? Creo que sí, hasta el extremo de poder entender el mundo individualmente de una manera más completa, incluido el origen de la humanidad y las relaciones humanas. Y el procesar el conocimiento de una forma más rápida nos ha de ayudar a razonar, cosa que ya estamos haciendo con la web —ponemos toda la información en un mismo lugar—; pero si cada vez lo hacemos mejor, cabe la esperanza de poder adquirir sabiduría individual más rápidamente y a partir de aquí una sabiduría colectiva.

E.P. En tus investigaciones más recientes subrayas que los seres humanos, a diferencia de las hormigas, se aferran a la individualidad, que define como seres humanos y los diferencia de un superorganismo. Es fantástico. ¿Puedo hacerte una pregunta que hasta ahora nadie me ha sabido responder? ¿Qué diablos sucedió? Antes mencionabas que no hubo nada igual en la evolución de las especies. ¿Qué hizo que nos alejáramos de las hormigas y que se saltara de su tipo de inteligencia a

la del *Homo sapiens*? Es decir, ¿sabemos un poco mejor hoy que hace unos años qué sucedió? Algunos dicen que es posible que fuera un cambio en la dieta, el consumo de pescado… ¿Lo sabemos?

E.W. En primer lugar hay que decir que el origen de los seres humanos es único y que llevó miles de millones de años crear una especie como la humana, y ese paso adelante es uno de los grandes misterios de la biología. Pero no es el único ejemplo de excepcionalidad en la evolución; ha habido otros muchos casos en la historia de la evolución en que se ha experimentado un gran avance. Por ejemplo, en mi campo de investigación nos encontramos con el trabajo de las hormigas *Acromyrmex octospinosus* de la América tropical, que son jardineras y construyen unos jardines subterráneos inmensos. Mastican y procesan las hojas en las que cultivan hongos de los que se alimentan y se han convertido en líderes de los animales que comen plantas en la América tropical. Pero esto sólo ha sucedido una vez en la historia de la evolución. ¿Cómo ocurren estos grandes sucesos, cuáles son las circunstancias peculiares por las que surgieron los seres humanos? No tenemos la respuesta, pero seguiremos intentando investigarlo y seguirá siendo uno de los retos más importantes en la investigación biológica del futuro.

Capítulo V

La degradación de la vida

KENNETH KENDLER

ROBERT HARE

JONATHAN PINCUS

Kenneth Kendler, profesor de Psiquiatría y Genética Humana de la Universidad de la Commonwealth de Virginia, donde investiga los desórdenes psiquiátricos y el abuso de drogas. Se centra en los factores ambientales y genéticos que desencadenan las depresiones severas, la esquizofrenia, el abuso de drogas como el tabaco y el alcohol.

Robert Hare, profesor emérito de Psicología de la Universidad de British Columbia, ha investigado a psicópatas durante muchos años. Él es el creador de la prueba PCL-R, que actualmente usa la mayoría de investigadores y médicos para diagnosticar una psicopatía.

Jonathan Pincus, jefe de Neurología del Hospital de Veteranos de Washington DC y profesor de la Universidad de Georgetown. En sus trabajos examina los crímenes violentos desde una perspectiva objetiva y científica, y en sus libros se encuentran las mejores explicaciones sobre las complejas relaciones entre el cerebro y el entorno en este tipo de actos.

Las bases genéticas de la ansiedad

KENNETH KENDLER

«Lo óptimo en un mundo peligroso es tener un nivel moderado de ansiedad.»

A comienzos de los años cincuenta, la psiquiatría disponía, para sosegar a sus pacientes, de un parco instrumental que se reducía al electroshock y la trementina. Se creía que el electroshock desconectaba las neuronas y, por tanto, las manifestaciones externas del comportamiento desquiciado, con el propósito o la esperanza de que al restablecerse un nuevo sistema de conexiones al azar la ley de los grandes números o la Providencia se encargarían de sanar el enfermo. La trementina era un líquido que se inyectaba en el brazo o la pierna y producía una inflamación controlada que dejaba totalmente inmovilizado al paciente cuyas neuronas persistían en la querencia ancestral por sus conexiones primitivas.

Yo, hijo de médico rural, pasaba con mis hermanos las tardes de domingo con los enfermos más accesibles del establecimiento de la Beneficencia para enfermos mentales de Vilaseca de Solcina y Salou, en la provincia de Tarragona. Como el Pedreta, que jugaba al parchís o a la oca sin soltar nunca una piedrecilla que sostenía entre sus dedos índice y pulgar, como si se tratara de un juego malabar inimitable, y hacia la que dirigía su mirada intermitentemente llamándola por su nombre, «piedrecilla».

En aquellos años era particularmente elevado el porcentaje de población perdida, y no era fácil diferenciar al vagabundo del que buscaba con las raíces cortadas nueva morada o del enajenado mental. Por razones obvias, la proporción de hombres y mujeres que se pierden en este último colectivo ha sido siempre mayor que el total de la población. A las posibles ansias de escapar de la desesperación y el sufrimiento hacia una libertad genérica jamás identificada hay que sumar el disimulo de un colectivo

fugitivo que no quiere que le encuentren. El resultado era que, a veces, transcurrían años enteros antes de que una familia pudiente localizara a su hijo o a su mujer desequilibrada y decidiera trasladarlos a locales más coherentes con su pasado.

El viaje desde la clase social en la que se había caído por distracción hacia otra más civilizada corría a cargo de un mozo originario de Huelva, que llevaba de oído la tartana como si fuera el piloto automático de un jumbo moderno. Era un viaje florido entre campos de olivos, que años más tarde arrancarían para poner en su lugar un complejo petroquímico. Aquellos viajes quedaron grabados para siempre en mi mente infantil y, desde entonces, nunca supe distinguir entre los tres colectivos que antes mencionaba. Como la mayoría de la gente, por otra parte. La clasificación de los pacientes depresivos en la categoría de enfermos es un descubrimiento reciente de la neurociencia. La degradación de la vida por causas externas o infecciosas está a punto de ser controlada. Pero han tenido que transcurrir muchos años para que se pueda siquiera contemplar la posibilidad de que ocurra lo mismo con la degradación de la vida provocada por disfunciones internas o mentales.

Yo no aprendí en Vilaseca de Solcina y Salou que la depresión era una enfermedad. Me lo enseñó mi amigo Lewis Wolpert mirando al vacío en uno de los puentes sobre el Támesis, desde el que había querido suicidarse muchas veces los tres años en que anduvo sumido en la depresión. Lewis es un prestigioso biólogo especializado en aplicaciones médicas y divulgación científica. Su libro titulado La tristeza maligna ha aportado más que cualquier otro para erradicar del mal llamado sentido común la idea de que la depresión no es, en realidad, una enfermedad. ¡Esta mentira piadosa es, todavía, un tópico, a pesar del uno por ciento de suicidios entre los pacientes con depresión!

Si Lewis Wolpert es uno de los científicos que más ha contribuido a difundir la idea de que la depresión es una enfermedad grave, Kenneth Kendler es el científico que mejor ha identificado las causas biológicas y genéticas de la ansiedad y la depresión, una de las mayores amenazas de la salud del ciudadano moderno. Kendler es profesor de psiquiatría en la Universidad de la Commonwealth de Virginia, en Estados Unidos.

EDUARDO PUNSET. Kenneth, parece ser que la ansiedad es un recurso evolutivo que nos ayuda a reaccionar frente a un peligro, una amenaza o un acto de violencia. Pero ¿por qué cuando mis estudiantes tienen un examen sufren la misma ansiedad que padecerían si un tigre o un león les amenazara, igual que hace cuarenta mil años? ¿Qué les falla? ¿Por qué no son capaces de distinguir los diferentes grados de amenaza?

KENNETH KENDLER. Déjame que te responda retrocediendo en la evolución. Como tú dices, y con razón, el mundo es un lugar muy peligroso, de ahí que una serie de organismos bastante primitivos fueran capaces de adaptar su respuesta de ansiedad o miedo cuando se enfrentaban a un estímulo potencialmente peligroso. Nos interesa que el cerebro sea receptivo a los estímulos de peligro que hay a nuestro alrededor, ya que nos predispone a actuar contra ese peligro. Pero, por otra parte, estar excesivamente preocupados por el peligro consume demasiado tiempo y energía y reduce nuestra adaptación. Si reflexionamos sobre lo que ha sucedido en la evolución, observamos que los genes se han desarrollado para predisponer a los individuos a ciertos niveles de ansiedad y lo óptimo, en un mundo peligroso, es tener un nivel moderado de ansiedad. Está claro que no preocuparse por los peligros no es muy inteligente en términos evolutivos.

E.P. Es cierto. De alguna forma parece que nuestros genes nos dejaron bien preparados para el entorno de hace cuarenta mil años. Estamos bien preparados para luchar contra las características amenazas de cuarenta mil años atrás, pero estamos bastante mal entrenados para el entorno moderno en el que las amenazas han cambiado.

K.K. Exacto. Y eso es fascinante para los que trabajamos en este campo: ¿por qué todavía hay gente que acude a la consulta con miedo a las arañas, a las serpientes, a las ratas o a los rayos, y en cambio, nadie tiene un miedo irracional a las armas de fuego, a los automóviles o a los aparatos eléctricos, que son las cosas que realmente pueden producir daño a los niños? Mucha gente piensa que los seres humanos, por evolución, estamos predispuestos a desarrollar miedos hacia cierto tipo de estímulos que fueron peligrosos en el periodo evolutivo. Y la

evolución no ha tenido tiempo de ponerse al día con el hecho de que hoy son más peligrosas las armas de fuego o un aparato eléctrico que una serpiente o una araña.

E.P. Kenneth, la neuróloga inglesa Susan Greenfield mantiene la tesis de que la depresión y la ansiedad son las enfermedades mentales más humanas que existen. En cierto modo, sostiene que lo que nos distingue de otros animales es un cerebro con demasiada capacidad para pensar: la capacidad para reflexionar sobre nuestro pasado, presente y futuro, que nos mete en un enredo. La gente que sufre depresión está harta de su propia mente, a diferencia de los esquizofrénicos o los niños que ven mundos fantásticos y tienen alucinaciones. ¿Qué te parece esta idea? ¿Los factores genéticos serían menos visibles en el caso de la depresión y la ansiedad?

K.K. Es una pregunta compleja. Estoy de acuerdo en que la depresión en particular es más bien un desorden de los centros cognitivos y emocionales superiores. Por ejemplo, no creo que exista un buen modelo para la depresión de los roedores, aunque sí existen pruebas de que los grandes primates, los chimpancés en particular y, sin duda, los humanos pueden desarrollar este síndrome depresivo, que recae, en parte, en la autoestima y la autoevaluación. En cierto modo, una de las causas de la depresión es la evaluación negativa de uno mismo. Las formas de ansiedad, creo, son algo diferentes. Está claro que los roedores pueden presentar muchas características de ansiedad y en los últimos diez años se ha demostrado que las rutas neurológicas básicas que intervienen en el comportamiento del miedo de los roedores, los primates y los humanos son básicamente las mismas. Con las nuevas técnicas de reproducción de imágenes y, en particular, con la resonancia magnética funcional, la mayor parte del trabajo se centra en esa estructura neurológica llamada amígdala. En los humanos, chimpancés y roedores ésta es la parte del cerebro que juega el papel de conexión central en el desarrollo de la ansiedad. Por tanto, creo que la ansiedad es biogenéticamente más vieja que la depresión.

E.P. Quieres decir que compartimos la ansiedad con los roedores y los primates y que genéticamente está demostrado. ¿Qué expectativas tenemos en este sentido? Me refiero a que al hablar de genética y farmacogenómica, es decir, de los fármacos que se utilizarían en una terapia genética, creemos entender las cosas mejor… pero el paciente, en cambio, no entiende gran cosa. ¿Tú que crees?

K.K. Primero te responderé de forma general. Es importante que al hablar de rasgos complejos como la ansiedad renunciemos a pensar de forma dicotómica, es decir, o los genes o el entorno. Creo que hay una fuerte tendencia a pensar que si los genes están implicados, lo están de forma tan determinista como para determinar el color de los ojos o el grupo sanguíneo. Y no es en absoluto cierto para estas enfermedades, ya que son fenómenos probabilísticos muy complejos. En los desórdenes de la ansiedad, creemos que alrededor de un 30 o 40 por ciento de las diferencias en la predisposición entre las personas se deben a diferencias en los genes. Es muy parecido, por ejemplo, a lo que ocurre con la presión sanguínea. Sabemos que los genes que se heredan del padre y la madre influyen en el nivel de presión sanguínea, pero también la dieta, si se es fumador, el estrés… las experiencias del entorno son importantes. Por tanto, no quiero que se entienda que al hablar de genes damos por hecho que el entorno no juega ningún papel, porque, por ejemplo, en los desórdenes de la ansiedad influye mucho. Un gran número de fobias surgen a raíz de sucesos muy traumáticos. Tuve un paciente joven que tenía muchísimo miedo a la altura, cuyo padre tenía muy mal carácter. Cuando mi paciente tenía tres o cuatro años, vivía en un sexto piso y cuando su padre se enfadaba lo cogía por el tobillo y lo sacaba por la ventana hasta que se calmaba. Por esto el niño tenía tanto miedo a las alturas aunque no tuviera ninguna predisposición genética, ya que había sufrido una experiencia ambiental suficientemente traumática. Se trata, pues, de una relación compleja durante el desarrollo entre la predisposición genética y las condiciones del entorno que alteran esa predisposición hacia la ansiedad. Me preguntabas hasta qué punto los pacientes saben responder a esta enfermedad. Depende enormemente del tipo de

atención psiquiátrica que reciban. Para las enfermedades relacionadas con la ansiedad, es importante saber que no sólo tenemos tratamientos farmacológicos, sino que también existen tratamientos de conducta que son muy eficaces; de hecho, está demostrado que las fobias, la forma más extendida de ansiedad, se pueden tratar de manera rápida y eficaz con una terapia conductual. Por ejemplo, a alguien con miedo a volar no se le trata con fármacos, sino que existen numerosas terapias de conducta. Ahora, con el mundo de la realidad virtual hay personas que usan gafas 3D para una terapia de exposición virtual, en vez de subir a un avión, como se hacía antes.

E.P. ¿Cuántos años crees que se tardará en disponer de fármacos sin efectos secundarios que sólo actúen sobre mutaciones o expresiones concretas de los genes? ¿Veinte o cincuenta?

K.K. Me estás pidiendo que haga profecías, y es muy arriesgado. Desde el punto de vista de las enfermedades psiquiátricas, lo más apasionante en relación con los desarrollos moleculares es intentar entender a nivel biológico básico en qué consisten las anomalías en estas enfermedades. En este sentido, en psiquiatría nos encontramos en una posición considerablemente menos avanzada que nuestros colegas que se ocupan de la genética de las enfermedades cardiovasculares o de la diabetes, en las que entendemos a un nivel muy básico qué enzimas intervienen o qué transporta el colesterol de un lado a otro. Y aunque hayamos hecho muchos progresos en psicofarmacología en el tratamiento de estos desórdenes, aún no conocemos a nivel biológico básico qué anormalidades presentan. Cuando seamos capaces de identificar genes particulares, estoy seguro de que encontraremos que son muchos y que es muy poco probable que un solo gen sea responsable de gran parte de la variabilidad de estas enfermedades. El gran avance será haber abierto la puerta a la biología para el estudio de estas enfermedades. Tengo suficiente edad como para acordarme de que hace veinticinco años hacíamos cosas como tomar muestras de orina o punciones lumbares para obtener médula espinal y ver si podíamos encontrar anomalías neuroquímicas. Estaba condenado al fracaso, porque son enfermedades de partes minúsculas, quizá de

cientos o pocos miles del total de miles de millones de las células nerviosas, y esas mediciones eran demasiado groseras. Así que al identificar genes intentamos iniciar la comprensión racional de la biología de estas enfermedades para que nuestros colegas farmacólogos puedan desarrollar fármacos mucho más específicos dirigidos a anormalidades concretas.

E.P. Como dice un colega físico, no tenemos la medida adecuada. Los humanos somos demasiado pequeños para ver las galaxias y demasiado grandes para observar el mundo real, la vida diminuta de los átomos, las moléculas y las células. Pero para tu generación, esta vida diminuta ha significado algo, sin duda: creéis tanto en la experimentación que pensáis que incluso la psiquiatría tiene una base bioquímica. ¿Cómo afecta esto a tu forma de analizar las personas o la mente humana?

K.K. La pregunta que planteas sobre la relación entre la mente y el cerebro es realmente fascinante. Como psiquiatra creo que me encuentro en la posición más privilegiada para intentar entender cómo se relacionan la mente y el cuerpo. De todas las disciplinas médicas, la psiquiatría es la que intenta interrelacionar la mente con el cerebro. Tomemos, por ejemplo, una situación clínica típica: estoy tratando a una joven que ha sufrido un episodio de depresión, y hablamos de cómo se siente y de un problema conyugal relacionado con su relación conflictiva con su padre. Hablamos de cuestiones profundas de su mundo mental, su identidad y sentido y, sin embargo, en el transcurso de la visita tengo que desconectar y pensar qué ocurre en su sistema neurológico, cómo le afecta al hipocampo y la amígdala, y si le estoy dando la dosis correcta de medicación para que se le regulen los receptores. Entonces tengo que desconectar otra vez y volver al mundo de la mente. De forma que, en el trabajo diario, los psiquiatras estamos pensando siempre en esa inextricable interrelación entre la mente y el cerebro. Es decir, observar la mente, el mundo que vemos desde nuestro interior, y el cerebro. Abrir el cerebro y pensar dónde están cambiando los receptores y si estamos usando la medicación correcta en el tratamiento farmacológico.

E.P. Es maravilloso. Mientras hablabas me preguntaba si en el futuro, cuando seamos realmente capaces de ir de un punto a otro de la mente al cuerpo, la gente seguirá acudiendo a tu consulta en búsqueda de felicidad. Quiero decir que si el día en que seamos capaces de hacer frente a la ansiedad, la gente buscará algo más en tu consulta.

K.K. Es una cuestión que me interesa mucho.

E.P. Cuéntame pues.

K.K. En psiquiatría existen reduccionistas biológicos extremos que creen que cuando podamos entender todas las moléculas, sólo habrá que recetar píldoras y a eso se reducirá la psiquiatría. Creo que este futuro es terrible, porque un aspecto fundamental de la condición humana es que somos animales contadores de historias, y necesitamos entender nuestras propias historias. No sería correcto que si la señora Jones acudiera a mi consulta con problemas matrimoniales que son reflejo de su problema con hombres como su padre, le diga:

«Señora Jones, usted padece una baja regulación del sistema neurológico, tómese estas pastillas y se sentirá mejor». Esto no bastaría, porque somos seres humanos y necesitamos entender nuestras experiencias. No creo que la psiquiatría cambie mucho, ni creo que deba cambiar. Uno de sus mayores retos es ser capaz de pensar el sentido de nuestra vida, a la par que la base física que opera en el cerebro.

E.P. Existe una cuestión muy particular ligada a Cataluña, la esquina de España donde nací. Hace tiempo, dos científicos, Antoni Bulbena y Xavier Estivill, apuntaron la existencia de una correlación directa entre la laxitud de las articulaciones del cuerpo y la ansiedad. Se interpretó como una de las pruebas de la base genética de la ansiedad. ¿Conoces el estudio?

K.K. Sí, conozco los resultados.

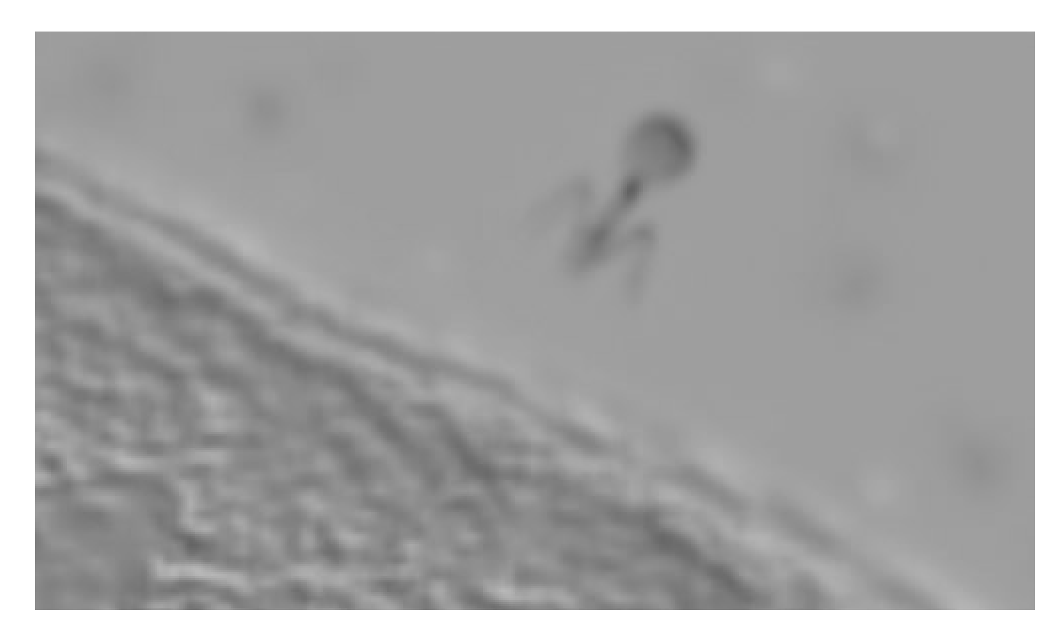
E.P. ¿Y qué te parecen?

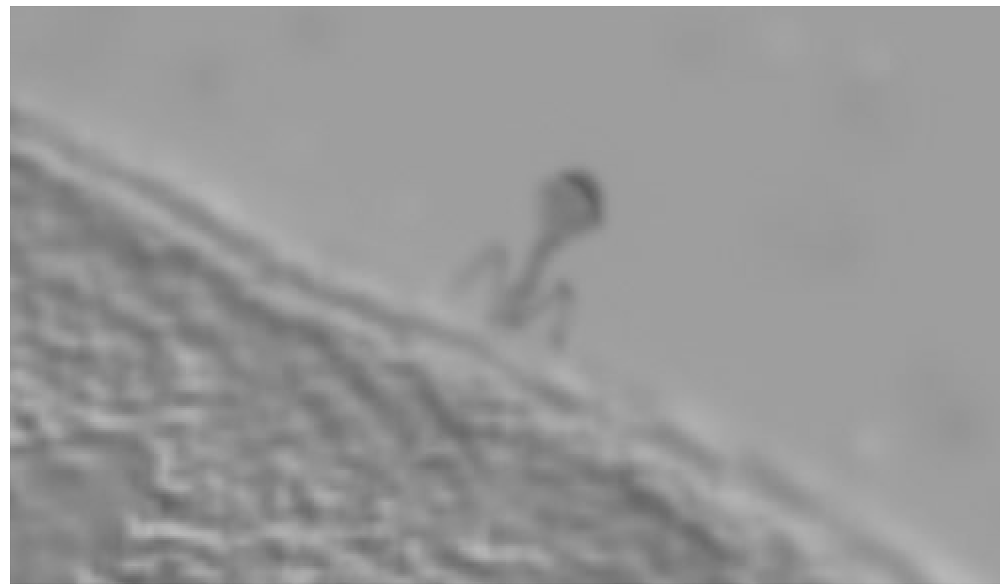
K.K. Creo que es un primer descubrimiento intrigante que merece seguir siendo investigado. Estamos muy al principio para poder comprender la ciencia básica de la ansiedad. No digo que sea imposible que esté relacionada con el gen que controla la laxitud de los tendones, pero el

estudio no ha sido suficientemente reproducido y sabemos, por la historia de la psiquiatría genética, que muchos primeros hallazgos no soportan las pruebas de reproducción. Por tanto, creo que es justo el interés y el entusiasmo, pero debe ser estudiado por otros grupos antes de aceptar que es verdad.

E.P. Kenneth, ¿estás de acuerdo con la afirmación de que se ha controlado prácticamente todas las enfermedades que proceden del exterior y que ahora el reto es controlar las que vienen de nuestro interior?

K.K. En general estoy de acuerdo con esta afirmación, con la excepción de la epidemia de sida. Las enfermedades infecciosas, en Occidente, están prácticamente controladas, a diferencia de las enfermedades crónicas como la diabetes y la hipertensión. Como sabes, las enfermedades psiquiátricas son una de las principales causas de enfermedad y mortalidad. La Organización Mundial de la Salud hizo un estudio de su desarrollo hasta el año 2020, enumerando las enfermedades en función de su impacto total sobre los niveles de salud, y se prevé que en esa fecha enfermedades como la depresión superarán a enfermedades us fijándose vuelta en una cardiovasculares como principal causa de enfermedad y muerte, y el alcoholismo y la ansiedad estarán también entre las diez primeras. Por tanto, si pensamos en las causas generales del sufrimiento humano, la degradación de la vida y la mortalidad, los síndromes nerviosos y de comportamiento jugarán un papel cada vez más importante en las próximas décadas. Por ello, creo que está justificado un esfuerzo intensivo de investigación para comprender y aliviar en la medida de lo posible este sufrimiento.





Las bases biológicas del psicópata

Robert Hare

«En un mundo utópico, el psicópata sobresaldría como depredador porque es lo que hace, aprovecharse de los demás. Podríamos vivir en una utopía perfecta y siempre habría psicópatas.»

En la historia de la evolución, en tiempos primordiales, transcurrieron más de mil millones de años sin depredadores porque había suficientes recursos disponibles para colmar las necesidades vitales de los primeros organismos bacterianos. Llegó un momento en que los nutrientes se agotaron, incluso para aquella población microscópica pero proliferante. La primera solución fue un uso más eficaz de los recursos mediante simbiosis de organismos distintos especializados en funciones específicas: fue el nacimiento de las células eucariotas. Miles de millones de años después, los vecinos descuidados —o sin suficientes niveles de ansiedad, como diría Kenneth Kendler—, se convirtieron en las primeras presas.

Con la aparición de la cresta neural y luego de las mandíbulas en la especie de los craneados se consolidó el instinto depredador. La continuación es muy conocida, salvo los motivos por los que la violencia pervive en los homínidos incluso cuando no está justificada por la supervivencia, en el paradigma de la selección natural. En este contexto, el ejemplo más insólito y desgarrador es el del psicópata que simboliza y desata los procesos de degradación y sufrimiento más incomprensibles para la conciencia humana. Robert Hare es el científico que ha identificado mejor y con mayor osadía —porque se atrevió a investigar al margen de «lo políticamente correcto»— las bases del comportamiento de los psicópatas. Un gran especialista en la materia ha dicho de él que «cientos de miles de psicópatas viven, trabajan y juegan con nosotros —tu jefe, tu amigo o tu

hermana— y es posible que sigan su camino hacia la destrucción sin tener conciencia de ello. Y todavía más preocupante: que nadie sabe qué hay que hacer al respecto; ni siquiera Robert Hare».

EDUARDO PUNSET. ¿Es cierto?

ROBERT HARE. Desde luego, es completamente cierto. Los psicópatas son grandes manipuladores y en Estados Unidos los describimos como astutos e ingeniosos, ya que pueden engañar a otros, e incluso cuando se es experto en la materia es fácil que te engañen y se salgan con la suya.

E.P. ¿A ti te han engañado?

R.H. Muchas veces.

E.P. Al principio de tu carrera…

R.H. Yo empecé trabajando como psicólogo en una cárcel, durante ocho meses. Era una forma de ganar dinero, porque yo estaba estudiando el máster y el doctorado. Era el único psicólogo de la cárcel y no sabía qué estaba haciendo. De hecho, el primer día de trabajo me encontré a un psicópata y en ese momento no fui consciente de ello, pero entró en mi despacho y literalmente me arrinconó en la pared con sus ojos. Yo no sabía qué hacer, y hoy siguen siendo los ojos más penetrantes que he visto jamás. Sacó un cuchillo enorme y me dijo que iba a destrozar algunas cosas de la cárcel. Creo que quería ver mi reacción, y yo no hice nada, me quedé sentado. Después de trabajar allí, empecé un doctorado sobre teorías tradicionales del aprendizaje, porque quería estudiar cómo se puede aprender sin recurrir al castigo. Y entonces, leyendo, me enteré de que existen unos psicópatas que no responden al tratamiento de castigo. Así empezó mi carrera, con un psicópata.

E.P. Gracias a tus investigaciones, y a las de otros, en la actualidad podemos diferenciar claramente a los criminales y delincuentes que son psicópatas de los que no lo son. Como características de los psicópatas subrayas la falta de empatía, la incapacidad de ponerse en el lugar de otros, la falta de conciencia y de remordimiento. ¿Cómo se puede explicar la falta de empatía o de conciencia? ¿Recuerdas ejemplos reales?

R.H. Hay muchos casos en los que se manifiesta su falta de empatía. Sucede cuando no se es capaz de ponerse en el lugar del otro de forma más emocional que intelectual. Es decir que un psicópata puede entrar en tu cerebro e intentar imaginar lo que piensas, pero nunca podrá comprender cómo te sientes. Es como intentar explicarle los colores a un daltónico. ¿Cómo se puede explicar la empatía y las emociones a un psicópata? Un psicópata puede llegar a relacionarse social o intelectualmente de forma significativa, pero concibe las personas como objetos. Es muy difícil de explicar, ya que la gente dice que todos, en tanto que seres humanos, pensamos y sentimos de la misma manera, y no es cierto. Uno de los mejores ejemplos de esta línea de investigación es la de los agentes de policía que imponen la ley y están constantemente en contacto con criminales violentos. Una vez, en una conferencia, describí el perfil de un psicópata y las bases neurobiológicas de la enfermedad, y los ojos de unos policías se iluminaron ya que entendieron de inmediato que la persona que interrogan no piensa ni siente de la misma manera que ellos. Es muy sorprendente que creamos que los policías que están en contacto permanente con asesinatos, mentiras y corrupción están acostumbrados a identificar a un psicópata. En realidad, no es así. En Estados Unidos se dio un caso muy ilustrativo. Se iba a condenar a un sospechoso del asesinato de siete u ocho mujeres por el asesinato de tres, porque no se podían demostrar los otros crímenes. Para intentar que confesara, se le decía que pensara en el sufrimiento de las familias de las víctimas, pero como era un psicópata no se inmutaba, porque no entendía de qué le hablaban. Yo impartí una conferencia acerca de los psicópatas y los investigadores de los homicidios estaban entre el público. Después supe, por el juez, que se había resuelto el caso porque el culpable había confesado. Confesó porque dejaron de apelar a su sentido de lo bueno y lo malo, a su sentido de conciencia y de empatía, porque carecía completamente de ellos. Y apelaron a su sentido de grandeza, diciéndole que él no era un asesino en serie porque sólo había matado a tres personas. Le dijeron que si hubiera asesinado a otras siete, ya sería un verdardero asesino. Y el sospechoso confesó de inmediato. La

clave es que la policía se dio cuenta de que hay gente que no piensa o siente de la misma manera que lo hacemos nosotros, y esto nos convierte a todos en víctimas en potencia.

E.P. Los psicópatas se caracterizan, también, por ser impulsivos, incapaces de planear el futuro, irresponsables e irritables. Siempre buscan algo nuevo que les excite…

R.H. Todos hemos soportado a personas de este tipo, aunque no quiere decir que sean psicópatas. Además de las características que has mencionado, destaca su profunda carencia de empatía y conciencia. Pero todas las características que has descrito funcionan perfectamente para todo el mundo: hay maridos, mujeres y padres que entienden perfectamente lo que decimos.

E.P. Bob, todavía no has dicho otra cosa terrible que aparece en un libro tuyo. No puedo decir que no se disfrute leyendo tus libros, me han encantado, pero confieso que me causan cierta angustia. Dices que la psicopatía no es innata ni se desarrolla en la adolescencia, sino que aparece entre los tres y los cinco años. Y todavía es más angustioso cuando dices que la psicopatía tiene muy poco que ver con familias estables o inestables. Existen unas estadísticas, creo que tuyas, que dicen que los criminales con una familia estable llegan a la cárcel a los veinticinco años, mientras que los procedentes de una familia inestable llegan a la cárcel a los quince años. Pero nada de esto sucede con los psicópatas: da igual que su familia sea estable o inestable.

R.H. Bueno, para ellos es menos importante. Creo que, para la mayoría de gente, el entorno en el que crecen es muy significativo, porque se forjan como personas a partir de los valores de su familia. Pero en el caso de los psicópatas la naturaleza les ha ofrecido algo ligeramente diferente del resto y parece que las fuerzas normales de socialización que moldean nuestra personalidad, que nos hacen más sociables y mejor ciudadanos, no funcionan con un psicópata. La cuestión es por qué no, ya que un psicópata puede proceder de cualquier familia. Si proviene de un entorno familiar malo, violento y proclive a depravaciones sociales, el psicópata es aceptado, ya que es un buen aprendiz, en el sentido de que aprende rápidamente las formas de

cometer actos antisociales y criminales sin sentir cargo de conciencia. Otra persona con capacidad que se críe en el mismo entorno puede acabar siendo un criminal profesional y cometer todo tipo de fechorías, pero al fin y al cabo tiene una cierta conciencia y puede que no se sienta bien con lo que hace. Las personas de este tipo son muy leales a otros criminales y pueden tener una buena vida familiar; el problema es que han aprendido a realizar actividades criminales para obtener lo que quieren. Los psicópatas, en cambio, es como si no tuvieran que aprender a hacer esto, son así. ¿Es exclusivamente un problema genético? No. ¿Es exclusivamente un problema del entorno? Tampoco. Debe haber una interacción de la genética y el entorno, pero el papel que desempeñan y cómo se distribuyen estos dos elementos todavía está por explicar. Una cosa que sí puedo decir es que el psicópata es una persona que desde muy pronto tiene cierta propensión no a desarrollarse de una cierta forma, sino a características personales como la falta de miedo o ansiedad, el gusto por una vida fácil y la tendencia a ser impulsivo… Son individuos que no pueden ser inhibidos o formados por el entorno de la misma manera que las personas normales.

E.P. Si vemos a jóvenes crueles con los animales, que mienten con facilidad y ofenden a sus padres y profesores y no temen el castigo, ¿qué podemos hacer?

R.H. Hay que tener mucho cuidado, ya que la gran mayoría de estos chicos crecerán y serán personas completamente normales. No sabemos cuál es la combinación particular de características peligrosas, aunque hemos identificado muchas. ¿Qué se puede hacer? De entrada, entender que la enfermedad no aparece de repente a los dieciocho años. ¿Qué sucede antes? De pronto se tienen dieciocho años y se es un psicópata. No tiene ningún sentido. Si no somos capaces de reconocerlo, estamos condenados a tratar exclusivamente a psicópatas adultos.

E.P. Has elaborado un manual para identificar a psicópatas que se utiliza en todo el mundo, el llamado PCLR.

R.H. El PCLR es una herramienta que he creado para que se diagnostique tan objetivamente como sea posible la psicopatía. Al principio sólo era un instrumento de investigación, y nunca imaginé que se utilizaría en el ámbito de la justicia criminal, ni para determinar quién saldría pronto de la cárcel y quién recibiría tratamiento. Se desarrolló exclusivamente como herramienta de investigación que permitiera a otros investigadores tener una medida común que pudiéramos utilizar todos.

E.P. Si se aplica el PCLR a todo el mundo, se llega a la cifra de que un uno por ciento de la población total padece psicopatía, el mismo índice que el de la esquizofrenia, o más, ¿verdad? Es muchísimo, ya que sólo en Estados Unidos, por ejemplo, supone dos millones de psicópatas.

R.H. Es más de lo que pensamos, sobre todo si nos fijamos en su impacto. Piensa en la cantidad de personas afectadas por la esquizofrenia: la familia, los amigos más próximos y la propia persona, que sufren mucho. Los psicópatas, en cambio, no sienten ninguna angustia personal ni tienen ningún problema; el problema lo tienes tú. Además, a lo largo de su vida afectan a cientos y quizás a miles de personas, de manera que su impacto en la sociedad es muchísimo mayor de lo que indica el números de casos.

E.P. Es increíble. Intentemos encontrar las bases de la psicopatía analizando el cerebro, ya que según una investigación tuya los psicópatas tienen un cerebro extraño, diferente del de otros criminales, pero ¿en qué sentido?

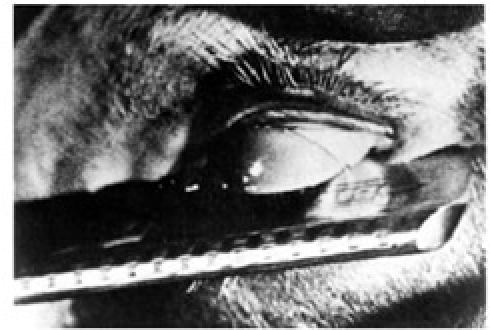
R.H. Creo que no es en relación a la estructura, que es la misma. Quiero decir que su estructura del cerebro parece la misma que la de la gente normal, pero su funcionamiento es diferente. En los últimos años hemos podido analizar las partes del cerebro que están activas cuando la gente procesa ciertas tareas o cierta información. Uno de los hallazgos más significativos es que, mientras un psicópata intenta analizar algo que contiene una carga emocional, como fotografías o palabras, las partes de su cerebro que se activan no son las mismas que las que se activan en la gran mayoría de personas.

E.P. Quieres decir que si se le menciona a un psicópata una emoción negativa como una violación, las áreas de su cerebro que procesan este material son diferentes a las que se activan en personas normales.

R.H. Exacto, de hecho, si le mostramos la palabra violación a un psicópata, la entiende como una palabra neutra, como la palabra mesa, silla o árbol. Parece ser que hay muy poca diferencia en la forma que responden, o en las partes del cerebro que se activan. Hemos realizado varios experimentos en los que enseñamos imágenes muy desagradables a psicópatas, como escenas de crímenes, y el funcionamiento de su cerebro demuestra que las tratan como si fuera algo normal y corriente, como un perro o un árbol. Hemos descubierto que hay partes de su cerebro que no se activan, y son las partes del cerebro asociadas al procesamiento de emociones: las regiones límbicas del cerebro, las zonas del cerebro emocional, como se dice popularmente. Pero en otros experimentos hemos hallado que ciertas partes de su cerebro relacionadas con el lenguaje están activadas. Otro ejemplo de las características de los psicópatas son los personajes de Doctor Spock y Data de *Star Treck*, que dicen que algo que despierta emocionalmente es interesante o muy interesante. En otras palabras, los psicópatas analizan las cosas lingüísticamente, y no emocionalmente.

E.P. También has sugerido que, en lugar de usar el hemisferio izquierdo para el lenguaje, como la mayoría de humanos, los psicópatas utilizan los dos hemisferios a la vez, cosa que genera una especie de competición o frustración. Pero ¿por qué esto lleva a acciones psicopáticas?

R.H. En 1994 descubrimos, por medio de un aparato en el laboratorio, que los psicópatas procesan el lenguaje en los dos hemisferios. Y no es una manera muy eficiente de hacer las cosas, ya que uno de los lados tiene que estar a cargo de todo. Hace poco se descubrió que los psicópatas procesan las emociones en los dos hemisferios, en lugar de procesar las emociones negativas en el hemisferio derecho interior, en la parte frontal del cerebro.

Dos fotogramas de *Un perro andaluz* de Luis Buñuel y Salvador Dalí. ¿Cómo reaccionamos ante el sufrimiento ajeno? El psicópata se caracteriza por su falta de empatía.

E.P. Volvamos al principio y hablemos de las terapias. Propones que olvidemos los programas de rehabilitación para psicópatas, ya que es posible que su cerebro funcione al revés, y que sólo aprendan a engañar. Sostienes que lo mejor es no rehabilitarlos con un programa convencional, pero ¿cómo se lo decimos a los jueces y a los encargados de las cárceles? ¿Y a los profesores? Porque no funciona ningún programa ni medicamento…

R.H. Se ha intentado todo, pero no hay nada que funcione… Ya sé que es un panorama desolador, pero no estamos dispuestos a tirar la toalla. Es como ir al médico con dolor de cabeza y que te recete aspirinas, y volver luego con dolor de estómago o una pierna rota, o sospechas que tienes algo grave y que te recete siempre lo mismo: o cambias de médico o te mueres. Pues sucede lo mismo con el sistema de justicia criminal: ¿por qué el mismo programa de tratamiento tiene que funcionar para todos los delincuentes? Como has dicho antes, los programas tradicionales de rehabilitación ayudan muy poco a los delincuentes psicópatas, y existen dos estudios que demuestran que delincuentes que siguieron estos programas cometieron crímenes más graves que si no se hubieran tratado. No es que el programa empeorara la situación, es que el programa no era el adecuado y aprendieron nuevas formas de manipular a las personas.

E.P. Es terrible porque la genética y la farmacogenómica han establecido, por ejemplo, que la aspirina no actúa igual en todas las personas. Mientras que a unas personas les va muy bien, a otras las mata; todo

depende de la variabilidad genética.

R.H. Exacto: es la interacción del tratamiento con la naturaleza del individuo, y en la mayoría de programas de tratamiento no se tiene en cuenta este hecho. Se tiende a tratar a todo el mundo igual.

E.P. Bob, si de momento no se puede hacer nada para arreglar la falta de conciencia y empatía, y por tanto no se puede cambiar a nadie, ya que a los psicópatas les falta dos bloques fundamentales de la vida; y dices que si a los cuarenta años se vuelven menos violentos y psicóticos…

R.H. Menos psicóticos no, menos violentos, menos impulsivos y con menos necesidad de llamar la atención.

E.P. ¿Se puede hacer algo con esas cosas, pues, sin pretender alterar los dos bloques?

R.H. Tu pregunta es muy acertada, porque estas dos piezas básicas no se pueden cambiar: se las llama características personales y no varían en toda la vida. Tenemos muchos datos que demuestran que su falta de empatía, sus delirios de grandeza y su escudar las emociones son características que se mantienen toda su vida. Lo que sí se puede cambiar, hasta cierto punto, es su impulsividad, su necesidad de estímulos y quizá su irresponsabilidad, aunque su cambio no es espectacular. Hace años, Lee Robins escribió un libro muy famoso titulado *Deviant Children Grown Up* que explica que es posible que mejoren con la edad, pero siguen siendo bastante desagradables. No quiero que creas que no hay nada que hacer, porque en varios países como Nueva Zelanda, el Reino Unido y Canadá se están trabajando con programas diseñados específicamente para psicópatas. Con un colega estamos trabajando en un programa que puede que funcione. No apela a su sentido de la conciencia o su falta de empatía, sino que se basa en el comportamiento cognitivo. Hay que probarlo, ya que parece que lo único que sabemos hacer con los psicópatas es encerrarlos. A mucha gente le gusta: como no se puede hacer nada con los psicópatas, se les encierra. Pero presenta un peligro para todos. Queremos desarrollar unos programas adecuados, que probablemente no tendrán un efecto drástico, pero al menos reducirán la propensión a la violencia.

E.P. Mi última pregunta es casi irrelevante después de nuestra conversación. ¿Por qué han tardado tanto los expertos en diferenciar el comportamiento de los psicópatas del resto de los criminales?

R.H. La pregunta no es nada irrelevante, es una pregunta muy importante. Creo que tendemos a pensar que las demás personas piensan igual que nosotros, y nos gusta pensar que la gente es buena, inherentemente buena. Creemos que si se les da una oportunidad todo irá bien. Mucha gente en Estados Unidos considera que si se les da un cachorro, un abrazo y un instrumento musical se curarán. Y no es así, no es tan fácil.

E.P. No todo el mundo es inherentemente bueno, y eso es difícil de aceptar.

R.H. No es que sean inherentemente malos, es que algunos son más difíciles de formar que otros. Y los psicópatas se encuentran entre los que son difíciles de modelar. Pero una de las mayores complicaciones para tratar esta enfermedad en particular es la dificultad de reconocerla. Hace poco di una conferencia en Gales titulada *Snakes in Suits* (Serpientes trajeadas) sobre el perfil del psicópata que no está en la cárcel, sino que forma parte del equipo de gestión, es un comercial, un marido o una mujer… esas personas que no identificamos como psicópatas aunque sus víctimas sí. Generalmente, tras dar una conferencia, los asistentes me invaden con comentarios como «has descrito una persona que conozco que no está en la cárcel». Los gobiernos y la sociedad quieren una salida fácil, como si los problemas fueran sólo económicos y sociales. No basta con invertir mucho dinero. En un mundo utópico el psicópata sobresaldría, ya que sería el predador porque eso es lo que hacen, se aprovechan de las personas. Podemos llegar a una utopía social perfecta y los psicópatas no desaparecerán.

Maltrato infantil y violencia asesina

JONATHAN PINCUS

«Ni la mayoría de enfermos mentales son violentos, ni la mayoría de los que tienen defectos neurológicos son violentos, ni la mayoría de los que han sido maltratados en la infancia son violentos. Pero cuando estos tres factores se dan a la vez en un individuo, éste es muy vulnerable a la violencia y es muy difícil inhibir ese impulso.»

Una vez aceptadas las bases genéticas de la ansiedad, era de pura lógica que, tarde o temprano, expertos en la psicología criminal como Robert Hare descubrieran que la singularidad de los comportamientos psicópatas está vinculada a determinadas disfunciones cerebrales. Y que otros científicos como Emil Coccaro correlacionaran la agresividad impulsiva con bajos niveles de serotonina neurológica y dieran paso a terapias circunstanciales basadas en la Floxitina o el Prozac. Se estaba ya en condiciones de contestar a la pregunta hasta ahora desconcertante de ¿por qué matan los asesinos, o por lo menos, ciertos asesinos? A Jonathan Pincus le correspondió la alambicada tarea de sistematizar las bases del comportamiento violento, no sólo de los psicópatas. Ahora parece claro que esa conducta surge de la interacción y la intersección de tres factores principales. Uno de ellos es la experiencia de haber sido torturado en la infancia, sexual o físicamente, cada día y durante años, lo cual deja una secuela imborrable en el niño y el adulto y provoca innumerables complicaciones. La mayoría de veces repercute sólo en el individuo, si no es una persona peligrosa, pero cuando este problema se une en el mismo individuo a alguna forma de daño cerebral que puede proceder de una gran

variedad de factores, o se ejerce sobre un enfermo mental —la enfermedad mental es, generalmente, hereditaria—, se dan las condiciones para el ejercicio de la violencia.

El neurólogo Jonathan Pincus ha investigado, desde el Hospital de Veteranos de Washington DC y como profesor de la Universidad de Georgetown, las razones sociales, psicológicas y neurológicas por las que se cometen asesinatos.

JONATHAN PINCUS. Estos tres factores interactúan. La enfermedad mental hace que la persona tenga más predisposición a convertirse en violenta, porque puede estar deprimida y sentirse victimizada y entonces actúa para quitarse de encima este sentimiento. O puede que sea muy paranoica y entonces puede que ataque a las personas para igualarse a ellas o para defenderse. Ni la mayoría de enfermos mentales son violentos, ni la mayoría de los que tienen defectos neurológicos son violentos, ni la mayoría de los que han sido maltratados en la infancia son violentos. Pero cuando estos tres factores se dan a la vez en un individuo, éste es muy vulnerable a la violencia y es muy difícil inhibir ese impulso.

EDUARDO PUNSET. De manera que si una persona que reúne estos tres factores se encuentra en una situación sin prohibiciones o en una guerra, entonces se convertirá en una asesina.

J.P. Sin duda. Por supuesto, en una guerra la mayor parte de los disparos no son contra nadie en concreto, sino contra el enemigo. Se ha demostrado que más del 90 por ciento de los disparos en combate de la Segunda Guerra Mundial no iban dirigidos a nadie en particular. Pero ahora hablamos de violencia grave, de una conducta criminal, que también se da en una guerra.

E.P. Eres realmente un gran especialista, reconocido por la comunidad científica por haber demostrado que detrás de la violencia suele haber malos tratos infantiles, daños cerebrales o una enfermedad mental. De modo que la violencia no es fruto de actitudes generales, de la pobreza o la riqueza. Tú argumentas que hay tres razones concretas que llevan a la violencia.

J.P. Efectivamente. Y encontramos una inclinación particular hacia la violencia en algunos medios sociales. Por ejemplo, en sectores económicamente muy marginados, con ingresos familiares inferiores a 10.000 dólares, el índice de maltratamiento infantil es doce veces mayor que con ingresos familiares de más de 50.000 dólares. Podríamos preguntarnos: ¿ la pobreza es la causa de la violencia? Pues no. Sí está muy relacionado con la pobreza el maltrato infantil, por drogadicción, alcoholismo o una enfermedad mental de los padres. Pero sea lo que sea, la causa es el maltratamiento infantil, no la pobreza. En Estados Unidos hay un índice de violencia altísimo entre los afroamericanos. El índice de homicidios en Estados Unidos es de 7 por cada 100.000 personas; entre los jóvenes se sitúa alrededor de los 30 por cada 100.000 personas; y entre los afroamericanos llega a ser de 130 por cada 100.000 personas, una cantidad enorme, cuatro o cinco veces mayor. ¿Por qué? No creo que sea algo hereditario, ni que tenga nada que ver con el color de la piel. Pero dentro de esos colectivos se da mucho más maltratamiento infantil, se denuncie o no. Y luego está el daño cerebral: el envenenamiento por plomo, el alcoholismo o el consumo de drogas, incluso durante el embarazo…

E.P. Partiendo del acento que se pone ahora en la infancia, ¿de qué otra forma se podría haber enfocado el tema si hace diez años se hubiera sabido lo que está demostrando hoy la neurociencia?

J.P. Es realmente impresionante. He escrito un libro de texto, titulado *Behaviour or Neurology* (*Comportamiento o neurología*), del que acaba de aparecer la cuarta edición…

E.P. Y éste otro, maravilloso también…

J.P. Sí, *Base Instincts: What Makes Killers Kill* (*Bajos instintos: qué hace que los asesinos maten*). Pero la cuestión es que el libro de texto, desde su última edición de hace diecisiete años, ha tenido que ser completamente reescrito, porque se ha producido un giro radical en la comprensión de las cosas. Algunas cosas básicas ya se sabían, como por ejemplo que el cerebro experimenta un cambio importantísimo entre el momento del nacimiento y el de su máximo crecimiento, que se da a los veinticinco años. ¿Qué sucede? No hay más células en el

cerebro del adulto de veinticuatro años que en el del recién nacido, pero hay un cambio en el desarrollo del cerebro y su tamaño que procede del desarrollo y de la capacidad de las células del cerebro para transportar impulsos nerviosos que las afectarán. Y este desarrollo del cerebro está sometido en un grado muy alto a influencias ambientales. Dos investigadores, David Hubel y Torsten Wiesel, ganaron el Premio Nobel por su demostración en el sistema visual: cómo las primerísimas experiencias tienen un efecto permanente y el patrimonio genético puede perderse para siempre a causa de la manipulación ambiental. Una persona se vuelve ciega si se le han cubierto los ojos desde que era muy pequeña. Pero si se opera de cataratas a un adulto que ha padecido ceguera durante años, recupera la visión. Si no se opera inmediatamente de cataratas a un bebé, nunca será capaz de desarrollar el sentido de la visión, aunque se le opere de las cataratas. Porque el sistema neurológico del bebé es extremadamente sensible a las influencias ambientales, y eso, por supuesto, incluye las influencias psicosociales.

E.P. Entonces ¿qué hacemos, ahora? Quiero decir: ¿podemos identificar —puesto que la conducta criminal tiene estos fundamentos fisiológicos o anatómicos— a los asesinos potenciales?

J.P. La respuesta es que sí y que no. Se podrían dar todos los factores y que la persona no fuera violenta. Uno de los peores asesinos en serie que he visto en mi vida mató con sus propias manos a diecisiete mujeres, entre los treinta y dos y los treinta y seis años, edad a la que fue detenido; si yo lo hubiera examinado a los treinta y un años, hubiera presentado exactamente los mismos factores que cuando cometió los asesinatos, pero no habría sido violento. Es decir, parte de la cuestión es en qué momento se examina a la persona en relación con el acto violento. En este sentido, pues, hay que decir que no: no se pueden hacer buenas predicciones. Pero algo que sí se puede hacer es identificar el maltratato infantil como un factor que interviene en el comportamiento violento e intentar prevenir y reducir su índice de incidencia sobre la población infantil.

E.P. Y reducir así el índice de criminalidad al cabo de quince años.

J.P. Exacto. No estamos hablando de maltratos, sino de tortura, de cortar, quemar, pegar y dejar inconscientes… Es un maltrato extremo.

E.P. ¿Qué sucedió con el francotirador de Washington? ¿Tienes alguna sospecha de qué es lo que no le funciona a ese individuo?

J.P. Sí, creo que es un psicótico gravemente enfermo. Me baso en el hecho de que dejó una nota a la policía diciendo «soy dios». Para que alguien diga que es dios tiene que estar loco. El otro factor es que procedía de un entorno con muchas privaciones: no tenía padres y no lo educó nadie, aunque tenía otros familiares y unas tías, y nació en Luisiana, que es el estado de Estados Unidos con un índice más elevado de homicidios, 17 por cada 100.000 habitantes cada año, mientras que Estados Unidos, incluido Louisiana, tiene siete, y Europa uno.

E.P. Muchos estados de Estados Unidos tienen una media parecida a la europea…

J.P. Sí, pero en la parte sur de Estados Unidos, donde hubo esclavitud, segregación racial y un odio institucionalizado, el índice de homicidios es muy elevado.

E.P. Jonathan, el hecho de que haya factores relacionados con el cerebro en la base de la violencia ¿hace que la prevención sea más fácil pero la rehabilitación más difícil?

J.P. Sí, la rehabilitación puede ser muy difícil. Se pueden tratar las enfermedades mentales y muchas de las neurológicas, pero es muy difícil librarse de los efectos del maltrato infantil y la rehabilitación es mucho más difícil que la prevención. Pero la prevención es relativamente fácil y barata. Y Europa, que tiene un índice tan bajo de violencia, lo ha conseguido, como Japón, inesperadamaente. Digo inesperadamente porque se hizo por bondad, no como prevención. Es decir que a las mujeres que dan a luz se les enseña que tienen que cuidar a los niños, formándolas con profesionales, y eso hacen las madres: está aceptado, es popular y lo paga el gobierno. En Estados Unidos no existe nada de esto. Se considera que es una invasión de la intimidad y en el sur sería particularmente inaceptable.

E.P. En cierto modo empezamos a actuar sin saber bien las razones, ¿es por eso que has dicho inesperadamente?

J.P. En Estados Unidos, Hawai introdujo este programa. Se identificaron las mujeres que podían maltratar a sus hijos: madres adolescentes, con hábitos de drogadicción, solteras, con su pareja o ellas mismas en la cárcel, o que habían intentado abortar. Cuando concurrían dos o tres factores, se consideraba que era muy probable que aquellas mujeres maltrataran a sus hijos. Y a esas madres se les preguntó si aceptarían los servicios de un profesional preparado que iría a sus casas y les enseñarían cómo ser madres. Les ayudaban a pedir ayudas gubernamentales y vivienda, pero también les enseñaban cómo cuidar a los niños en casa, cómo alimentarlos, cómo cambiarlos y qué hacer cuando el niño llora, a no zarandear al niño y pegarle como respuesta a su llanto. Mucha gente actúa así por pura ignorancia. Una chica de dieciséis o diecisiete años sin experiencia maternal no sabe por qué llora un niño y quiere que deje de berrear, y hace lo único que sabe que afectará al comportamiento del otro individuo, es decir, pegarle, zarandearlo y hacerle daño.

E.P. Y así se forjan los asesinos.

J.P. Sí, los asesinos no nacen, se hacen. Si padeces una enfermedad mental y te infligen un daño neurológico, casi puedo asegurar que te convertirás en un asesino si se dan determinadas circunstancias.

Capítulo VI

No te puedes fiar del cerebro

RODOLFO LLINÁS

JOSEPH LEDOUX

ANTONIO DAMASIO

Rodolfo Llinás empezó estudiando a las neuronas en el microscopio para convertirse después en el fundador de la neurociencia. Este colombiano, nacionalizado estadounidense, ha sido postulado varias veces para el premio Nobel por haber revolucionado el concepto que se tenía sobre el sistema nervioso al proponer una nueva manera de entendernos a nosotros mismos y nuestra interacción con la realidad.

Joseph E. Ledoux dirige el Centro de Ciencia Neuronal de la Universidad de Nueva York, donde estudian las bases biológicas de emociones tales como el miedo, de gran importancia a la hora de entender los cada vez más frecuentes cuadros de ansiedad que sufre la sociedad moderna.

Antonio Damasio, jefe de Neurología en la Universidad de Iowa, en Estados Unidos, estudia los mecanismos fundamentales de la cognición y las perturbaciones cognitivas y de comportamiento causadas por enfermedades del sistema nervioso central.

Está encerrado a oscuras

RODOLFO LLINÁS

«Los humanos tenemos endoesqueleto y los crustáceos exoesqueleto. La diferencia es inmensa.»

Para unos, el cerebro es el órgano más perfecto del Universo, mientras que para otros no es sino el subproducto azaroso de una evolución retorcida y aleatoria.

Ahora sabemos que la mente está firmemente anclada en el cerebro, de ahí que el neurocientífico Antonio Damasio, de la Universidad de Arizona —cuyas reflexiones aparecen en este capítulo—, afirme, contradiciendo al filósofo francés René Descartes, «Existo, luego pienso», en lugar de «Pienso, luego existo».

Gracias a las investigaciones de Joseph Ledoux, el autor de El cerebro emocional*, podemos comprender las difíciles y a menudo tormentosas comunicaciones sinápticas entre el sistema límbico —rector de nuestras emociones— y el neocórtex, regulador de nuestra conciencia. Tanto es así que muchas corporaciones de todo el mundo proponen seminarios a sus altos ejecutivos sobre la inteligencia emocional, que se fundamenta en las premisas de Daniel Goleman de que es posible mejorar conscientemente el control de las emociones, por lo menos en relación con el estado de cosas que prevalecía hace sesenta mil años*.

No obstante, nadie ha conseguido que olvidemos los desperfectos que nos rodean a raíz de las acciones regidas por este órgano que consume, por si sólo, más del veinte por ciento de la energía disponible del cuerpo humano. Si es cierto el refrán «por sus actos los conoceréis», el conocimiento del cerebro sigue siendo incierto. Desafortunadamente, los avances científicos y tecnológicos que pueden llevarnos a la era del control biológico y del Universo no pueden contrarrestar la violencia sin sentido y

la discriminación por razones de raza, sexo o religión dictada por un cerebro empeñado en la defensa de los genes, los espacios y las generaciones considerados como propias.

Subsisten vestigios evolutivos que han configurado un cerebro a todas luces anormal. El fisiólogo Jonathan Miller, de espíritu renacentista, llama la atención sobre el hecho alarmante de que órganos tan importantes como el corazón, el hígado o los riñones no estén representados en el parlamento cerebral, donde fluyen todos los estímulos y sentidos corporales, simplemente porque en los inicios de la evolución esos órganos estaban en otro lugar. Por eso, cuando nos duele el corazón, en lugar de la parte centroizquierda del pecho, donde está ubicado ahora, el dolor se localiza en el brazo, el cuello o la espalda; y cuando un cálculo renal inicia su camino por el uréter, el dolor se extiende desde la parte trasera del lomo hasta el comienzo del falo. Jonathan Miller dice que estos dolores son vestigios arqueológicos de lo que fuimos antaño. Sorprende pensar que el cerebro, un subproducto terco de la evolución, está al mando de la nave y tiene todo el poder de decisión tanto a lo que se refiere a la gestión de procesos automatizados como a la respiración y a procesos discrecionales y conscientes como cambiar de entorno o de pareja.

Nadie como Rodolfo R. Llinás ha explicado, desde su cátedra de Neurociencia y como presidente del Departamento de Fisiología y Neurociencia de la Facultad de Medicina de la Universidad de Nueva York, los obstáculos que el cerebro tuvo que salvar para cumplir una misión imposible: guiar a los organismos movientes para que llegaran a donde querían ir.

EDUARDO PUNSET. Si alguien programa, es el cerebro. Pero el cerebro no puede saber gran cosa porque está encerrado, es impenetrable y misterioso. Tú sostienes que nuestra estructura es la contraria que la de los crustáceos: nuestra parte blanda está fuera y dentro están la columna, el esqueleto y el cerebro. Es como si nos hubieran dado la vuelta hacia fuera.

RODOLFO LLINÁS. Sí, pero la situación es real, no es una comparación metafórica. Esta situación se produjo realmente. Si observas un cangrejo, ves que tiene un caparazón, se mueve y agita las pinzas, pero si lo golpeas, es duro. En cambio, si golpeas a una vaca, es blanda, pero si empujas suficientemente sientes que dentro tiene huesos. Por tanto, los humanos tenemos endoesqueleto y los crustáceos exoesqueleto, es decir, el esqueleto fuera y el interior blando. La diferencia es inmensa si se piensa cómo se entienden las cosas. Imaginemos un cangrejo inteligente que pensara: «¿cómo me muevo?». Creería que la respuesta es misteriosa, porque su parte blanda está en su interior. Esto no nos pasa a nosotros, porque lo blando está fuera y lo podemos tocar: tocamos los tendones y el movimiento no nos parece misterioso.

E.P. Tú has dicho que sólo tienen cerebro los que lo necesitan. Las plantas no tienen sistema nervioso.

R.Ll. Sí, así es. La gente piensa que el cerebro apareció de repente y no es verdad, apareció trabajosamente y ha tardado setecientos cincuenta millones de años en ser como es. El proceso fue el siguiente: los organismos unicelulares, que vivieron como células únicas dos mil millones de años, decidieron formar una corporación, es decir, un animal, porque presenta grandes ventajas. Entonces se creó un sistema que podía interactuar con cosas más grandes. Y así surgieron dos filosofías vitales diametralmente opuestas. La filosofía de las plantas, seres vivos como nosotros que tienen circulación, se reproducen y mueren, pero no se mueven activamente. Si hay un incendio, los árboles no salen corriendo, pero los monos que hay en los árboles sí. Ésta es la filosofía de estar quieto: no me puedo mover y haré lo mínimo necesario para sobrevivir. Y luego está la otra filosofía, la del movimiento. Pero para moverse se requiere el sistema nervioso. Entonces surgió el sistema nervioso y evolucionó a partir de la necesidad de moverse.

E.P. Es decir que el cerebro realmente surgió con aquellos organismos vivos que se movían.

R.Ll. Sí, con organismos que tienen movimiento, pero movimiento con intencionalidad. Quieren moverse hacia una situación. Porque al fin y al cabo, los árboles se mueven con el viento o cuando el Sol cambia de posición, pero los animales tienen que moverse en el mundo externo y, por tanto, requieren una imagen, aunque sea muy primitiva, de hacia dónde se están moviendo, porque se podrían estar dirigiendo hacia la boca de una persona o de un animal que se los va a comer, por ejemplo. Entonces, moverse es peligrosísimo si no se tiene dentro una imagen muy sencilla del mundo de fuera. Ésta es la clave.

E.P. Así aparece el cerebro.

R.Ll. Sí, el sistema nervioso es necesario para predecir el movimiento.

E.P. ¿Qué organismo originó el primer esbozo de este artilugio que luego fue cableado e intrínsicamente capaz de generar imágenes que emulan la realidad exterior, aunque no sean exactas?

R.Ll. Si se busca el animal que demuestre esta hipótesis, el eslabón perdido de cómo apareció el sistema nervioso, se encuentran unos animales llamados tunicados que viven en el fondo del mar: son como una especie de botella, tienen una piel delgadita, de un color muy bonito, azulado, y sólo toman agua y la empujan con un filtro. Simplemente tienen una entrada y una salida de agua, y este sistema tan mínimo no requiere cerebro, sólo un cerebro muy primitivo, digestivo, que activa una sencilla bomba de agua. Y no necesitan saber qué hay fuera ni adónde dirigirse para buscar agua, porque están rodeados de agua. Cuando se reproducen, generan una semilla inteligente, y esto es lo más extraordinario. Casi todos los vegetales generan millones de semillas, pero muchas se mueren o no germinan. En cambio, la semilla de los tunicados, que es móvil como un renacuajo, tiene la capacidad de recibir luz y sabe dónde es arriba y abajo, es decir, que tiene un sistema vestibular, tacto y la posibilidad de entender muy brevemente el mundo externo. El tunicado se mueve activamente pero sólo vive una hora, porque en una hora se le agota la batería, ya que carece de aparato digestivo. Nace con una yema que come a medida que va

muriendo. Y en el transcurso de esa hora debe buscar un sitio donde fijarse. Cuando encuentra ese lugar, se fija en él, mete la cabeza y absorbe su propio cerebro, porque ya no lo necesita.

E.P. Hay gente que, al establecerse y encontrar un trabajo fijo, se comporta como el *Ciona intestinalis*, como los tunicados.

R.Ll. Y demuestra la relación entre la inteligencia y la capacidad motriz. A lo largo de la evolución algunas formas han adquirido el aparato digestivo y entonces han podido continuar explorando el Universo. Y esas formas somos nosotros, es decir, los vertebrados.

E.P. Demos otro paso y examinemos qué ocurre cuando se necesita predecir un poco el futuro y programarlo. ¿Se necesita ya un organismo más complicado?

R.Ll. Claro. Y entonces los animales desarrollan una cabeza. ¿Qué es la cabeza? La cabeza es el punto de lanza del animal que se mueve. Y como las cosas nuevas siempre vienen de delante, porque uno se está moviendo hacia delante, los ojos están delante, con los oídos y todos los aparatos de percepción del Universo. Primero porque de ahí procede la información y luego porque la respuesta que se puede dar al mundo externo es así mucho más rápida.

E.P. Y para eso este artilugio tiene que poder representar intrínsecamente, interiormente, lo que está ocurriendo fuera, aunque sea de modo impreciso.

R.Ll. Claro, porque es un sistema cerrado, perforado por los sentidos. El sistema nervioso tiene que hacerse una idea de lo que hay fuera en base a la memoria genética y a lo que captan los sentidos. Con esas tres variables genera un estado interno que solamente existe dentro. Porque solamente dentro se mezcla el rojo de la manzana con su redondez, su tacto, su sabor y su olor. Estas cosas las genera el sistema nervioso. Y se es incapaz de imaginar el mundo de otro modo, porque lo hemos construido así. Hay cosas que no vemos, como las señales de televisión que nos están perforando, las ondas de radio o muchas otras cosas: sólo vemos lo que nos importa, y lo que no nos importa lo ignoramos.

E.P. ¿Cómo es posible que una manzana sólo exista en el cerebro?

R.Ll. Es así porque si se es mosca, la manzana se ve de modo totalmente diferente que si se es caballo. Por tanto, tenemos una imagen interna de qué es una manzana para nosotros, y como es tan nuestra, no imaginamos que pueda tener valores diferentes para otros animales. Y sin cerebro, las manzanas no existen, no se reconocen. Lo realmente interesante es que el sistema es cerrado. Si me duermo, sueño con gran detalle, con música y colores, leo cosas que no existen. Entonces sé que los pedazos de cosas que forman la realidad están en mi interior, y que yo hago que los objetos sean estados funcionales. La demostración preciosa de que el sistema es cerrado es el hecho de que se pueda pensar una cosa, inventarla y hacerla luego, cuando esa cosa nunca ha existido fuera.

E.P. Ponme un ejemplo.

R.Ll. Me imagino un aparato con las mismas propiedades en pequeño que la rotación de la Tierra. Se llama reloj y es un aparato rarísimo, porque es un pedazo de metal que representa en un mundo totalmente diferente la hora, es decir, la posición entre el Sol y la Tierra en un momento dado. No existe nada igual fuera de la raza humana, porque se necesitaba un artilugio que lo pensara y lo realizara, de modo que nuestro sistema nervioso ha llegado a tal desarrollo que podemos convertir nuestros sueños en realidad.

E.P. En un libro tuyo citas unas tormentas eléctricas poderosísimas. El artilugio capaz de construir estas representaciones lejanas de algo que está fuera, o de un sueño, necesita que sus neuronas se comuniquen, a veces en una especie de estallido, más allá de una mera oscilación rítmica. Tú lo llamas coherencia, como un ejército que se mueve rítmicamente, marcando el paso.



Nuestra experiencia determina nuestra percepción. ¿Qué vemos en este juego óptico? ¿Una escena erótica o un grupo de delfines?

R.Ll. Si grito «¡no!» y doy un golpe brusco sobre la mesa con el brazo, mi brazo se ha movido y ha transmitido energía a la mesa al mismo tiempo que el aparato bucal ha producido un sonido. Es un estado funcional que se ha generado al mismo tiempo, y yo no puedo secuenciar las partes. Si observas el interior del cerebro en ese momento, ves millones de células que dicen «¡gol!» a un tiempo, como los espectadores en un estadio. Imagínate millones de células se activan al mismo tiempo dentro de la cabeza.

E.P. La conciencia. Tú dices que la vida es un sistema…

R.Ll. Sí, una mitocondria o una célula, por sí sola, no está viva, pero el sistema tiene propiedades que llamamos vida. Éste es el principio de la bicicleta. El espíritu de la bicicleta está en su sistema, no en una llanta o el manillar.

E.P. Pero el 90 por ciento de las actividades de este sistema son automáticas. ¿Y el resto?

R.Ll. Como humanos, somos animales cerebrales. Nacemos desnudos, sin capacidad de sobrevivir solos, y morimos con forma casi de feto. Siempre somos como niños. Si medimos nuestra fuerza dentro del reino animal, estamos a menos cero: una gallina corre casi más rápidamente que nosotros, cualquier animal nos gana corriendo. En vez de desarrollar una gran fortaleza física, hemos cultivado un nuevo sistema interactivo para pensar y solucionar problemas sin movernos. Dentro del cerebro se realizan todas las posibles soluciones para poder desarrollar la mejor, como hacer una escalera. El sistema nervioso tiene capacidad, pero requiere poder respirar, digerir o moverse sin tener que pensar. De eso se ocupa el cerebro automático, vegetativo, que vive en el tallo cerebral y el hipotálamo. El otro es el que genera la conciencia.

E.P. Y es el más reciente, el que ha crecido más tardíamente.

R.Ll. Existen dos grandes sistemas: el más primitivo, el de las pasiones, el dolor, que es una pasión, la envidia, la pereza, la lujuria, comer y sentir, que no es negociable. Alguien te gusta o no, algo te da placer o no, como al reptil. La posibilidad de negociar con la realidad sólo se da con el segundo sistema, el del neocórtex, aunque está completamente dominado por las pasiones.

El difícil diálogo entre emociones y conciencia

Joseph Ledoux

«Es muy cómodo pensar que podemos controlarlo todo conscientemente, pero al cerebro también le resulta fácil actuar inconscientemente. Si no fuera así, estaríamos tan ocupados calculando cada uno de nuestros pasos o cada respiración que no seríamos capaces de hacer nada importante.»

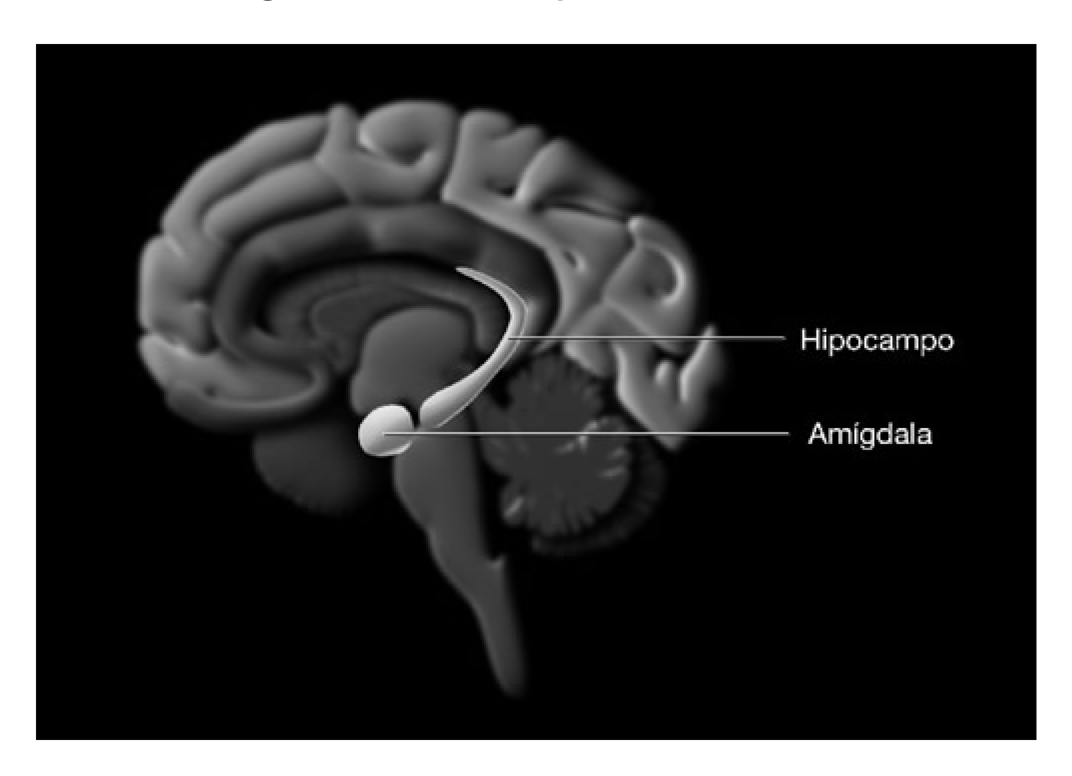
La pasión, el miedo y el pánico, es decir la gran influencia del cerebro reptil y primitivo en los homínidos evolucionados, ha centrado gran parte de los esfuerzos investigadores de Joseph Ledoux, profesor de Ciencia del Centro de Neurociencia y del Departamento de Psicología de la Universidad de Nueva York.

Tras nuestro primer encuentro en Nueva York, empecé a sospechar que el sistema emocional y el sistema consciente pueden encontrarse en la situación de los primeros ordenadores, cuyos lenguajes eran incompatibles. Hoy, Ledoux lo entiende como imperfecciones en el acceso consciente a los sistemas emocionales. Pero él sembró aquella duda y creo que se equivocan tanto los que piensen que son dos mundos incomunicados y hostiles —de nada sirve sermonear «no te drogues», «no bebas», «no corras»—, como creer que el cerebro integrado, una de las grandes aportaciones de Antonio Damasio, que cierra este capítulo, garantiza el control de las emociones.

Desde hace miles de millones de años todos los organismos vivos han ido desarrollando sistemas o funciones para lidiar con lo que los rodeaba, para sacar energía y alimentación y poder huir si surgía una amenaza que pusiera su vida en peligro. A diferencia de lo que todavía se enseña en las aulas, en esos procesos de autodefensa el inconsciente juega un papel mucho más importante que los procesos conscientes. En otras palabras, el control consciente que ejercemos sobre nuestro cerebro no es tan relevante como pensábamos.

JOSEPH LEDOUX. Es muy cómodo pensar que podemos controlarlo todo conscientemente, pero el cerebro prefiere actuar inconscientemente. Si no, estaríamos tan ocupados calculando cada uno de nuestros pasos a cada respiración que no podríamos hacer nada importante. Por eso, los procesos inconscientes son fundamentales en nuestra vida. Algunos son tan triviales como respirar o andar. Por ejemplo, cuando conversamos no pensamos en colocar el verbo detrás del sujeto para ordenar la frase, sino que lo hacemos automáticamente, porque nuestro cerebro ya está preparado. Con las emociones es más complicado creer que las regulamos inconscientemente, pero en realidad forman parte del inconsciente, como respirar o andar.

EDUARDO PUNSET. Tú siempre subrayas la importancia de la amígdala. ¿Qué parte del cerebro ocupa la amígdala que controla, al parecer, nuestras emociones? Todos los especialistas estáis de acuerdo en que la amígdala es la responsable de nuestras emociones, y en que la conexión entre la amígdala y la percepción en el neocórtex o el cerebro global no es simétrica. Es decir que la amígdala controla nuestro cerebro mediante emociones y pasiones, pero el cerebro apenas puede controlar la amígdala. Es terrible, ¿no crees?



Cerebro humano. Desde la amígdala y el hipocampo se gestionan todas las emociones.

J.L. Sí, es cierto. La amígdala está relacionada con emociones como el miedo, y su función es detectar los estímulos peligrosos. Si un oso te ataca, la amígdala detecta el peligro y produce una respuesta sin que tengas que preocuparte de nada: reaccionas ante el peligro. Por ejemplo, si en Nueva York estás caminando por la calle y un autobús está a punto de atropellarte, reaccionas y te apartas, el autobús pasa de largo y entonces te das cuenta de que has estado en peligro. Es un aspecto curioso del funcionamiento de la amígdala: por una parte, te salva la vida en situaciones peligrosas, pero, por otra, ejerce un control sobre el córtex cerebral que es mayor del que ejerce el córtex cerebral sobre la amígdala. Y lo sabemos por nuestra propia experiencia. Cuando sentimos ansiedad, miedo o estamos deprimidos, no podemos obligar a nuestro cerebro emocional a que detenga esa angustia, ese miedo o esa depresión, sino que sólo se puede superar con el tiempo. Cuando nos . afecta un determinado estado emocional, hay ciertas hormonas y elementos químicos que nos mantienen inmersos en ese estado, y es muy positivo, puesto que si te ataca un oso, una serpiente o cualquier otro depredador, no te conviene pensar que tus acciones cotizan en la bolsa o en lo que cenaste anoche, sino que debes concentrarte en lo que es importante en ese momento. Mientras dure esa situación no puedes pedirle a tu cerebro que te deje libre. Las emociones siguen su curso natural.

E.P. Pero a veces nos gustaría que nuestro cerebro pudiera alterar, aliviar o controlar nuestras emociones. A veces, emociones como el odio o el amor, nos causan problemas importantes y conscientemente no podemos hacer gran cosa.

J.L. De hecho, existen dos partes en una reacción emocional. La primera es la propia reacción, que es una respuesta automática. Hace años, en las olimpiadas de Atlanta, estalló una bomba, y en ese instante la gente no reaccionó, como se vio en la grabación de la CNN: la gente se quedó inmóvil, un par de segundos después alguien empezó a correr y, entonces, todo el mundo reaccionó y huyó. Siempre tenemos reacciones iniciales y, a continuación, pasamos de reaccionar

emocionalmente a actuar emocionalmente. No es que no podamos controlar nuestras emociones, no podemos controlar nuestra reacción inicial, y aquí es donde fallamos. Ejercemos muy poco control sobre nuestra reacción inicial, aunque es la base para un control posterior. Por tanto, cuando actuamos emocionalmente controlamos la situación. Nuestra efectividad para controlar la situación es discutible, pero siempre tenemos cierto control.

E.P. Cuando surge una amenaza repentina, como una bomba, no movernos es tal vez mejor que estar dando vueltas, ¿verdad?

J.L. Así es.

E.P. Puede que la bestia te ignore si estás quieto. En cierto modo, las emociones son inteligentes.

J.L. Sí, es verdad. Muchos depredadores responden ante los movimientos y, aunque no poseen una visión de detalle muy precisa, pueden detectar el movimiento. Ese movimiento puede provocar reacciones en el depredador, y es entonces cuando corremos peligro.

E.P. Es decir que quedarse paralizado por el miedo o una amenaza repentina nos ha salvado a lo largo de la historia de la especie. Cuando un león está a punto de abalanzarse sobre nosotros, la mejor respuesta es no moverse. Sugieres que algunos traumas de la niñez, como abusos sexuales o tortura, van directamente a la amígdala y se registran para siempre, de manera que nuestro cerebro consciente no puede borrar estos recuerdos. Dices cosas más graves todavía: sugieres que estos sucesos no se graban en el hipocampo, sino directamente en la amígdala, y no hay modo alguno de trasladar esas memorias al cerebro consciente. Es decir que ¿esos malos recuerdos permanecerán eternamente en nuestro organismo?

J.L. Es como el lado malo de algo bueno. Si eres un animal que vive en el bosque y tienes que sobrevivir frente a los depredadores, debes recordar cómo son, qué sonidos emiten al acercarse, dónde están, etc. Estos detalles son necesarios si quieres seguir vivo. Si eres afortunado en tu primer encuentro y logras escapar, quieres recordarlo todo para no tener que volver a aprenderlo otra vez. El cerebro tiene un sistema muy efectivo para aprender de los peligros y eso es bueno, pero el

aspecto negativo es que, a veces, aprendemos cosas que no queremos recordar, como ciertos traumas… Y en situaciones traumáticas, la amígdala graba la información, pero el hipocampo no, ya que el hipocampo es muy sensible a los efectos de las hormonas liberadas ante el estrés. Así que esas hormonas llegan al hipocampo y evitan que el hipocampo pueda memorizar correctamente. Entonces tendremos poca memoria consciente sobre lo que ha sucedido. Esas mismas hormonas van a la amígdala y permiten recordarlo todo detalladamente. Ante la misma situación, puede existir una memoria inconsciente muy fuerte y una memoria consciente muy débil.

E.P. Se me ocurre que en un futuro biológico, la amígdala, como fuente de pasiones y emociones, podría acrecentar su papel progresivamente mientras que el hipocampo, sometido a los embates del estrés, se iría degradando. Con el tiempo, ¿podría darse una situación en la que la amígdala se fortaleciera y el hipocampo se debilitara?

J.L. De entrada, quiero puntualizar que el hipocampo no es el centro de la conciencia; hace que ciertos recuerdos sean accesibles a nuestra conciencia, pero por sí mismo no representa la conciencia, aunque el hipocampo parece tener un acceso más directo a la conciencia que la amígdala. En respuesta a tu pregunta, en el futuro el cerebro humano puede evolucionar de manera que la amígdala crezca y el hipocampo se vaya reduciendo a causa de las tensiones. De hecho, todo es posible desde el punto de vista evolutivo, depende de la presión a la que esté sometida nuestra vida y de cómo la organicemos. Nuestro cerebro evoluciona adaptándose a menores niveles de ansiedad respecto a posibles depredadores, pero, en cambio, estamos en un mundo más estresante a causa de las bombas nucleares y las tensiones psicológicas y físicas. Es decir que nuestra situación cambia constantemente y todo depende de la permanencia de los cambios, porque la evolución responde ante los cambios que se mantienen durante mucho tiempo. Y actualmente nos encontramos en una etapa de cambios rápidos, de ahí que sea tan difícil saber hacia dónde se encamina nuestro cerebro. El cerebro necesita mucho tiempo para cambiar. De todos modos, parece ser que a lo largo de la evolución de los primates las conexiones entre

la amígdala y el córtex cerebral, y las conexiones entre el córtex y la amígdala han crecido. Las previsiones optimistas confían en que la amígdala y el córtex dejarán de luchar entre ellos y encontrarán un equilibrio, de manera que, en el futuro, en el cerebro humano las emociones no dominarán la conciencia ni la conciencia dominará las emociones, sino que las emociones y la conciencia trabajarán juntas.

E.P. ¿Es cierto que el proceso que genera el pánico y la respuesta ante el miedo es muy semejante en todos los mamíferos?

J.L. Es cierto en el caso de la respuesta al miedo.

E.P. ¿Por qué?

J.L. Porque el sentimiento de miedo se produce en el córtex cerebral, en la parte que piensa, y esa parte ha evolucionado mucho. Cada animal tiene un tipo de córtex cerebral distinto y, por tanto, una capacidad diferente para sentir.

E.P. Es decir que, en realidad, no se pueden conocer las diferencias entre los sentimientos conscientes de los animales y los humanos.

J.L. Es una cuestión filosófica. Los filósofos tratan el problema de «las otras mentes». Yo no puedo afirmar si tú eres consciente o no, sólo sé que yo lo soy porque estoy observando mi propia mente. Pero si fueras un robot, yo no lo sabría.

E.P. Tu punto de vista sobre estas cosas podría cambiar el método para curar o tratar ciertas adicciones. Por ejemplo, si dices que el impacto es para siempre, en vez de tratar de convencer a un drogadicto de que debería cambiar, tal vez podríamos ir directamente a la amígdala e intentar borrar lo que está grabado.

J.L. Algún día, las empresas farmacéuticas llegarán a actuar sólo en la amígdala. Entretanto, el Valium y otros fármacos que tratan la ansiedad tienen efecto sobre varias zonas a la vez; por ejemplo, no sólo se controla el sueño, sino los estímulos sexuales o el miedo. Si se pudiera dirigir el efecto únicamente hacia la amígdala, el fármaco controlaría la ansiedad sin efectos secundarios. Ése es el principal objetivo cuando se desarrolla un fármaco.

Existo, luego pienso

Antonio Damasio

«No se puede decir “pienso, luego existo”. Lo correcto es “existo, luego pienso”.»

La Universidad del Estado de Iowa, en Estados Unidos, está, como dicen los estadounidenses, in the middle of nowhere *(en medio de ninguna parte). Pero Antonio Damasio ha convertido la Facultad de Medicina, con la colaboración de su mujer Hanna, en el lugar de peregrinaje de los especialistas en neurociencia de todo el mundo.*

Damasio entendió que, frente a la compartimentalización sugerida por la doctrina tradicional, el cerebro constituye un modelo de órgano integrado. El caso clínico de Phineas Gage, objeto de estudio de todos los manuales de psiquiatría al uso, contribuyó mucho a la concepción regionalizada del cerebro. Phineas Gage, un operario de una empresa de montaje de Boston, sufrió un accidente terrible en el verano de 1848, al dinamitar una roca para abrir paso a los raíles del futuro ferrocarril en la zona de Vermont. Una barra de hierro le atravesó literalmente la cabeza: la palanca le penetró por la mejilla izquierda, le agujereó la base del cráneo, y le atravesó la parte frontal del cerebro, salió disparada a toda velocidad cabeza arriba para caer ensangrentada a una distancia de más de 30 metros. Gage sobrevivió y, aparentemente, la lesión cerebral no le afectó al sistema motriz, el lenguaje ni la visión. Pero tras el accidente, dejó de ser la persona seria y responsable que había sido siempre, y se volvió incapaz de planificar su futuro y asumir la responsabilidad de sus relaciones sociales. La conclusión fue que ciertos subsistemas del cerebro están específicamente dedicados a las dimensiones personales y sociales del acto de razonar.

El estudio y el papel de las emociones se había considerado siempre como una cuestión ajena al análisis científico. Se admitía, eso sí, que alguien sin emociones o incapaz de controlarlas medianamente bien era un enfermo mental. Y poco más. Esta percepción casi casual de las emociones ha dado un giro de ciento ochenta grados en los últimos diez años, hasta generar un consenso generalizado en el mundo científico: las emociones no sólo desempeñan un papel primordial en la vida humana, sino que están en el inicio de los sentimientos, la conciencia, y los proyectos personales y colectivos. Antonio Damasio es el neurocientífico que mayor empeño ha prodigado en este nuevo consenso. Es su segunda gran contribución a la nueva neurociencia.

ANTONIO DAMASIO. A decir verdad, me gusta Descartes, es un gran pensador, pero creo que la forma en que se ha interpretado su formulación ha tenido una influencia negativa en nuestra forma de pensar. Parece que sólo importa pensar, la razón, y que lo que subyace a ella, la emoción y el ser, son menos importantes, cuando en realidad forman un todo. Lo mejor que podemos decir es que «somos», que la vida reside en nuestro organismo y que tenemos emociones y sentimientos, y que todo esto tiene una gran influencia en la imaginación, el proceso de pensamiento y de razonamiento. Por tanto, en definitiva, las mayores conquistas de nuestro organismo —la razón, por supuesto, y la creatividad— no están separadas, no se encuentran en otro nivel ni surgen de arriba abajo, sino que surgen de abajo arriba, son la continuación hacia algo muy complejo pero que, en realidad, emana de la representación del cuerpo, del organismo y su vida.

EDUARDO PUNSET. Tú acuñaste una frase fantástica al respecto: «Los órdenes más bajos de nuestro organismo están en el rizo de la razón superior». Por tanto, en realidad todo se encuentra mezclado. Ésta fue tu primera gran contribución, ¿verdad?

A.D. Está todo mezclado y es una mezcla en forma de rizo: por tanto, en vez de ver la emoción aquí y la razón ahí, como las capas separadas de un pastel, lo que pasa en realidad es que nos encontramos con la emoción interfiriendo en la razón y con la razón modificando la

emoción. Es un rizamiento constante. Es muy importante comprender que tenemos todas estas posibilidades —emoción, razón— porque tenemos la capacidad de representar nuestro cuerpo en nuestro cerebro. Nuestro cerebro está representando constantemente el estado de nuestro organismo; está siempre ahí, cada milisegundo se ajusta la representación de nuestro cuerpo en el cerebro. Y cada cosa de nuestra mente, cada operación de nuestro cerebro gira alrededor del problema de mantener la vida. El problema de hacer cosas… algunas de forma automática, como regular el metabolismo, y otras de manera mucho más complicada, al comportarnos de una manera determinada. Por ejemplo, se puede regular la vida ajustando casi de forma automática el metabolismo, el azúcar de la sangre, el pH o el agua. Pero también es necesario hacer de forma activa una serie de cosas: por ejemplo, cuando se está en ciertas condiciones metabólicas es necesario ir a por agua y comida para tener más energía. Estas actividades necesitan un proceso de conducta activa y están orientadas, prioritariamente, a mantener la vida de un organismo. Y todas las cosas a las que podemos referirnos —nuestra imaginación, creatividad, razonamiento e incluso el comportamiento moral— están basadas en esas condiciones fundamentales del organismo vivo.



«¿Pienso: luego existo? No, es justamente al revés.» Antonio Damasio, en su despacho de la Universidad de Iowa, conversa con Eduardo Punset.

E.P. Lo que le preocupa al cerebro es sobrevivir.

A.D. Desde luego.

E.P. Como dice Richard Gregory, el cerebro no se ha diseñado para buscar la verdad, sino para sobrevivir. La supervivencia está, en realidad, en la base de todo.

A.D. Sí. La supervivencia es el problema de mantener la vida. Y nacemos con un mandamiento que se lleva en los genes, que es el de mantener la vida durante nuestra existencia. Y cada cosa que ha evolucionado en nuestra estructura biológica ha obedecido a este problema. Y luego, claro, a partir de cierto punto, en tanto que individuos conscientes, podemos producir otras muchas cosas con nuestra fértil imaginación. Podemos crear el sentido de la ética y la moralidad, podemos preocuparnos no sólo por nosotros mismos, sino también de los demás. Pero todo esto viene después. En primer lugar está la existencia viviente y la necesidad de regular esa existencia.

E.P. Hay gente que cree que con el uso de internet y del software de los ordenadores el cerebro será, con el tiempo, obsoleto. ¿Tú qué crees?

A.D. No creo que el cerebro sea obsoleto. Los ordenadores e internet son extensiones de la capacidad cerebral. Usados de manera correcta, ayudarán al cerebro a conseguir más, a ser más creativos y a tener más capacidad, ya que nos proporcionan más conocimientos y posibilidades de manipular el conocimiento, más memoria… Por tanto, a grandes rasgos son buenos, sólo son perniciosos si te superan, si no tienes tiempo para poder reflexionar sobre tu vida y las personas que te rodean. Creo que también es muy importante en temas como la violencia o la estructura ética del ser humano. Una de las cosas más importantes que podemos hacer es tener empatía…

E.P. Para poder situarnos…

A.D. Exacto, se necesita comprender qué sienten los otros, si la persona con la que estamos hablando…

E.P. ¿Se puede saber?

A.D. Por supuesto. Podemos hacer predicciones que nos dan mucha información. Deberíamos poder decidir si la persona con la que hablamos se siente bien o mal, si sufre. Si no se tiene esta habilidad, no se puede tener moralidad o un comportamiento verdaderamente altruista.

E.P. Pero ¿eres consciente de que no existen cursos de empatía?

A.D. Es cierto, se aprende de forma natural. Pero cuando se tiene se puede guiar de forma adecuada. No se tiene que aprender a tener empatía…

E.P. ¿No?

A.D. No. Se adquiere de forma natural.

E.P. Es uno de esos marcadores biológicos…

A.D. Exacto, está ahí. Sin embargo, se tiene que aprender a usar la empatía para ser bueno con los otros y no hacer daño a nadie. Aquí entra en juego la sociedad, los padres, la escuela y la cultura, que enseñan qué está bien y qué está mal. Y la empatía ayuda a comprender de forma natural aquello a lo que la gente se refiere cuando habla de comportamiento moral. Y ésta es una de las cosas que está en peligro en una sociedad donde todo sucede de forma tan rápida. Nadie tiene tiempo para pensar sobre las implicaciones de un acto, y se tiene que poder reflexionar. Yo veo muy positivos los ordenadores e internet, son maneras de hacer mejor las cosas, pero debemos tener cuidado con el hecho de que las emociones son procesos lentos y…

E.P. Requieren tiempo y tenemos poco… ¿Cómo ves la evolución futura? El balance entre lo positivo y lo negativo, ¿es tan bueno como parece? Pensaba en el cerebro, en su aspecto terrible, tan comprimido entre las paredes del cráneo. A la gente le da miedo… Me pregunto si el cerebro funciona realmente, con tantas guerras y violencia… ¿Tenemos un exceso de cerebro? ¿Hemos perdido su control? ¿Podemos mejorar este control? ¿Qué te parece?

A.D. Es una buena pregunta. De hecho, la pregunta que haces es qué me parece el cerebro humano actual, y si creo que es mejorable. Creo que la única respuesta es que tenemos el cerebro que tenemos, y creo que nos complace, ya que cada vez comprendemos mejor su funcionamiento, y podremos hacer comprender a la gente los motivos

por los que hacen las cosas. Por ejemplo, acabas de mencionar las guerras y la violencia. Hay muchos comportamientos que resultan de las guerras y la violencia. La mayor parte de estos comportamientos están íntimamente relacionados con la forma en que nuestro cerebro está diseñado, unido al modo en que el entorno, cierta cultura o sociedad lo lleva a actuar. Creo, y quizá soy excesivamente optimista, que cuanto más sepamos sobre el diseño del cerebro, más lo comprenderemos. Muchos comportamientos que consideramos malvados o terribles son perfectamente explicables por la forma en que está diseñado el cerebro y su interacción con el entorno.

E.P. Por ejemplo…

A.D. Por ejemplo, ciertas muestras de enfado y agresión surgieron en un determinado momento de la evolución como respuesta a cierta realidad. Ya en las primeras etapas, los humanos convivían con depredadores en la selva y desarrollaron ciertos tipos de comportamiento para su defensa personal. La mayoría de estos comportamientos y diseños ya no sirven en una sociedad que ha pasado de ser cazadora y recolectora a agrícola, y de agrícola a urbana. Por tanto, ciertos comportamientos que tienden a la agresión suceden de forma automática, pero podrían controlarse si se conocieran mejor.

E.P. ¿Y la educación? A mí nadie me explicó nada sobre las emociones ni las técnicas de meditación que pueden dignificar el comportamiento. Ninguno de mis compañeros de clase distinguía el sistema límbico del neocórtex. ¿Están cambiando las cosas?

A.D. Creo que están cambiando a pasos agigantados. Necesitamos que estos cambios ocurran, que haya personas que comprendan mejor cómo actúan, por qué reaccionan ante ciertas cosas. Y será muy importante, ya que la velocidad de la vida y la cantidad de información disponible están aumentando enormemente, y las personas necesitan —especialmente en relación con las emociones— tener una base en la que sostenerse. La gente necesita relacionarse y comprender qué significan emociones como el miedo, la felicidad, la tristeza respecto a su vida; necesitan comprender qué es la empatía. Son cosas fundamentales, especialmente en un mundo donde existe una red de

comunicaciones que permite acceder a cualquier sitio muy rápidamente. En internet existe una gran cantidad de información que no está digerida. Verás, cuando había tiempo para pensar y reflexionar era distinto, ahora todo llega demasiado deprisa y en grandes cantidades. Hay que ayudar a la gente a entender el valor de las cosas, a saber relacionar esta información con los aspectos fundamentales de la vida y la muerte…

E.P. Aunque no es nada fácil. Se han contado tantas mentiras sobre el futuro que la gente se aferra al presente. ¿Qué consecuencias tiene esta forma de vivir? ¿Tiene alguna explicación científica?

A.D. No creo que tenga una explicación con referencia al cerebro, pero sí tiene consecuencias negativas tanto para el órgano en sí como para la gente en general. A mi entender, nuestra civilización ha avanzado gracias a la posibilidad de pensar en las consecuencias del futuro; en otras palabras, yo creo que los humanos actúan de manera óptima cuando hacen planes y se preocupan por las consecuencias que entrañan sus acciones, y se olvidan un poco del aquí y el ahora, de la gratificación instantánea. Si toda la vida se invierte en el presente, hay muchas posibilidades de cometer grandes errores con consecuencias imprevistas. De hecho, creo que una de las cosas que el cerebro humano ha desarrollado especialmente bien son estructuras como la del córtex prefrontal, muy relacionadas con la manipulación de consecuencias futuras. Por tanto, estar excesivamente concentrado en el aquí y el ahora es, de alguna forma, retroceder a un estado en el que no importa el futuro, como una miopía del futuro.

E.P. Dices que el neocórtex se desarrollará de forma que nos ayudará a manipular las imágenes del futuro, para prever los acontecimientos. Probablemente, ésta es una de las grandes líneas de investigación de los próximos años.

A.D. Hay quienes piensan que la conciencia está absolutamente relacionada con el neocórtex y es cierto, es necesario el neocórtex para alcanzar este nuevo nivel. Pero también se necesitan otras estructuras antiquísimas, que datan de muy atrás en nuestra propia evolución y la evolución en general. Pero no es contradictorio porque es una

utilización; se necesita todo para poder ser consciente, para ser una persona más imaginativa y creativa: se necesita el neocórtex, pero también se necesitan otras cosas para que funcione. Mira, para poder hacer un gran edificio se necesitan ladrillos, cemento, acero; no es una contradicción que el diseño más grande y bonito esté basado en cosas muy simples como cemento, ladrillos o acero.

E.P. ¿Qué parte del cerebro se activa cuando alguien puede ver cosas que el resto no puede ver? Me refiero a un innovador.

A.D. Como todo lo bueno de nuestra mente, nunca es fruto de una única parte del cerebro, sino que es el resultado de un sistema que trabaja unido. Ver cosas que la mayoría no ve, como le ocurre a un gran pintor, poeta o científico, requiere un sentido rápido nacido de una emoción, del presentimiento de que algo es especial. La emoción es la señal que indica que algo es especial. Sólo después se puede racionalizar y pensar.

E.P. En el rizo de una innovación hay una emoción, ¿verdad?

A.D. Sí. Y por cierto, las personas muy perspicaces y creativas como Picasso, Einstein o el matemático Poincaré, son muy conscientes del significado de la emoción, de ahí que Einstein hablase siempre de la belleza de una ecuación.

E.P. Es cierto.

A.D. Poincaré pensaba que había una especie de filtro emocional que le decía qué era bueno y qué era malo.

E.P. Se dice que el matemático innovador no pierde el tiempo haciendo miles de combinaciones entre los factores, sino que se encamina hacia lo que le emociona.

A.D. Sí.

E.P. Todo arranca de una emoción.

A.D. Exacto. Y aunque pueda parecer contradictorio, no lo es en absoluto. Observa una emoción, sus procesos y sus partes constituyentes: son necesarias. Ahora mismo estamos subrayando que las emociones son necesarias, ya que durante mucho tiempo se desdeñaban las emociones, se decía: «Bueno, a quién le importan… el cuerpo es de los animales, nosotros tenemos la magnífica racionalidad que proviene del

lenguaje». Pero no procede realmente del lenguaje, en realidad es al revés. No quiero decir que la razón y la creatividad no sean magníficas, claro que lo son. El lenguaje ha sido fantástico porque ha permitido que se desarrollara la creatividad. Pero no hay que olvidar que todo está basado en algo muy fundamental, el proceso vital de un organismo y el modo como está representado en el cerebro. Ésta es la clave.

Capítulo VII

Los tahúres de la conciencia y el alma

Daniel Dennett

Deepak Chopra

Daniel Dennett dirige el Centro para los Estudios Cognitivos de la Universidad de Tufts, en Estados Unidos. Este filósofo fue uno de los pioneros en proponer un modelo computacional de la mente: criticado por algunos filósofos que mantienen que ciertos aspectos de la conciencia nunca podrán ser reproducidos por un ordenador, y alabado por investigadores y seguidores de la Inteligencia Artificial.

Deepak Chopra ha combinado en los últimos años sus credenciales como endocrinólogo con la exploración de una medicina que integra la mente y el cuerpo. Es pues uno de los mayores exponentes de los beneficios que la medicina tradicional oriental puede aportar a la ciencia más puntera.

No hay ningún responsable

Daniel Dennett

«Ninguna célula sabe quién eres ni le importa.»

Cuando Antonio Damasio afirma que «se necesita todo para ser consciente», regresa al consenso de la neurociencia que él ha contribuido a fraguar. Pero los trazos más certeros que han alumbrado la conciencia han llegado, paradójicamente, de otros confines disciplinarios a menudo opuestos.

Los chimpancés y los humanos somos los únicos animales capaces de reconocernos en un espejo y, por tanto, de poseer conciencia propia. Parece que los delfines también. Pero ¿dónde y cuándo, en la historia de la evolución, nace la conciencia? Y, cuando se intenta describir la conciencia, ¿se esboza el alma? Parece que ahora estamos mucho más cerca de intuirlo que hace unos años, gracias a una escuadra arrolladora de científicos naturalistas formada por Richard Dawkins, Francis Crick, James Watson, Edward Wilson y Steven Pinker, capitaneada por Daniel Dennett, director del Centro de Estudios Cognitivos de la Universidad Tufts de Massachusetts.

En este capítulo, el lector se adentrará en el debate de los que cuestionan la naturaleza dual del ser humano desde los ámbitos de la ciencia. Es una lucha encarnizada entre los argumentos aparentemente irrefutables de las dos secciones, formulados con una elegancia y una claridad poco corrientes en la prosa científica. Y al mismo tiempo es un debate profundamente ambiguo en el que los más reduccionistas, como Daniel Dennett, aceptan el espacio reservado a la conciencia mientras que los defensores más acérrimos del poder de la mente, como Deepak Chopra, ven en la ciencia, en lugar de la religión, el cauce para la comprensión de la naturaleza.

No es de extrañar el revuelo suscitado por la negación científica del alma. La polvareda que levantan las huestes antirreduccionistas arranca del temor profundo, del pánico legítimo a una existencia sin libre albedrío. El físico y matemático francés Pierre-Simon Laplace resumió con una claridad estremecedora la esencia del determinismo. Como las moscas deslumbradas por un haz de luz, los humanos siguen debatiéndose bajo el flujo del determinismo unas veces y la repulsión del Universo indeterminado otras.

EDUARDO PUNSET. Así que esta máquina que es nuestro cuerpo carece de espíritu.

DANIEL DENNETT. Exacto, no tiene espíritu.

E.P. Ni alma.

D.D. Podría parecer que existe el alma, que la máquina del cuerpo tiene espíritu, ya que si hacemos un inventario del cuerpo humano, ¿qué encontramos? Varios trillones de células diferentes, células vivas, neuronas… células de todo tipo, en suma. Pero ninguna célula sabe quién eres ni le importa. Pero de alguna forma tú te asocias al equipo de un trillón de células, que son muy fascistas, como esclavas, repelen a los intrusos como abejas en una colmena y no les importa la democracia, Barcelona o América… Nuestras células desconocen todo esto y, sin embargo, aquí están dos grandes equipos de células, tu equipo y el mío, que saben muchas cosas de las que no son concientes. Por tanto, es natural pensar que la única explicación es que, además de todo este material, haya un espíritu en el cuerpo, que exista el alma.

E.P. Eso cree la gente.

D.D. Es una idea muy poderosa, pero errónea. No puede existir espíritu en la máquina.

E.P. Dan, si no hay alma en la máquina del cuerpo, ¿qué la rige, entonces?

D.D. Trazaré un paralelismo en forma de fábula. En un país reinaba un rey, y sin el rey no existía la nación. Pero entonces se inventó la democracia. Ocurrió algo parecido con la biología, aunque la biología inventó la democracia primero. Ninguna parte de ti es el rey, sólo existen facciones, partidos políticos y grupos que compiten en tu

cerebro por el control. Pero ¿qué tipo de grupos? Son grupos de actividades, no son células sino modelos de información que compiten por el control del cuerpo y, como la competencia es dinámica y fluida, siempre hay alguien al mando, en el despacho.

E.P. Aunque no se le haya nombrado oficialmente, ¿verdad?

D.D. Exacto, no hay elecciones oficiales, pero en el cerebro existe un proceso de oposición que permite a un tema tras otro salir del fondo, avanzar hacia delante y hacerse cargo de la situación. Mientras conversamos, estamos compuestos de ideas, proyectos, esperanzas y planes que tal vez dejaremos de lado al final del día, y un yo diferente asumirá el mando. Todos los proyectos están conectados por la memoria, no existe un único espíritu, sino una sucesión de controladores temporales.

E.P. ¿Qué significa la conciencia? Quiero decir, ¿cómo empezó todo? ¿Cómo se puede explicar? ¿Cómo podemos saber qué existe en esta máquina?

D.D. A mi juicio, la clave para entender la conciencia es hacerse la pregunta evolucionista: ¿para qué sirve? Existe para anticiparse, de forma que se pueda ver en la distancia para planear y proyectar un curso de vida mejor. En un ser humano con lenguaje, ciencia y cultura, se dan muchos intercambios de información. Podemos predecir los eclipses que sucederán dentro de siglos, imaginar galaxias distantes y pensar en un pasado que no vivimos. La conciencia es el poder del cerebro para representar cosas que no ocurren en el presente estricto, sino futuras o pasadas… La conciencia es ese poder, es la capacidad de representación de parte del mundo físico.

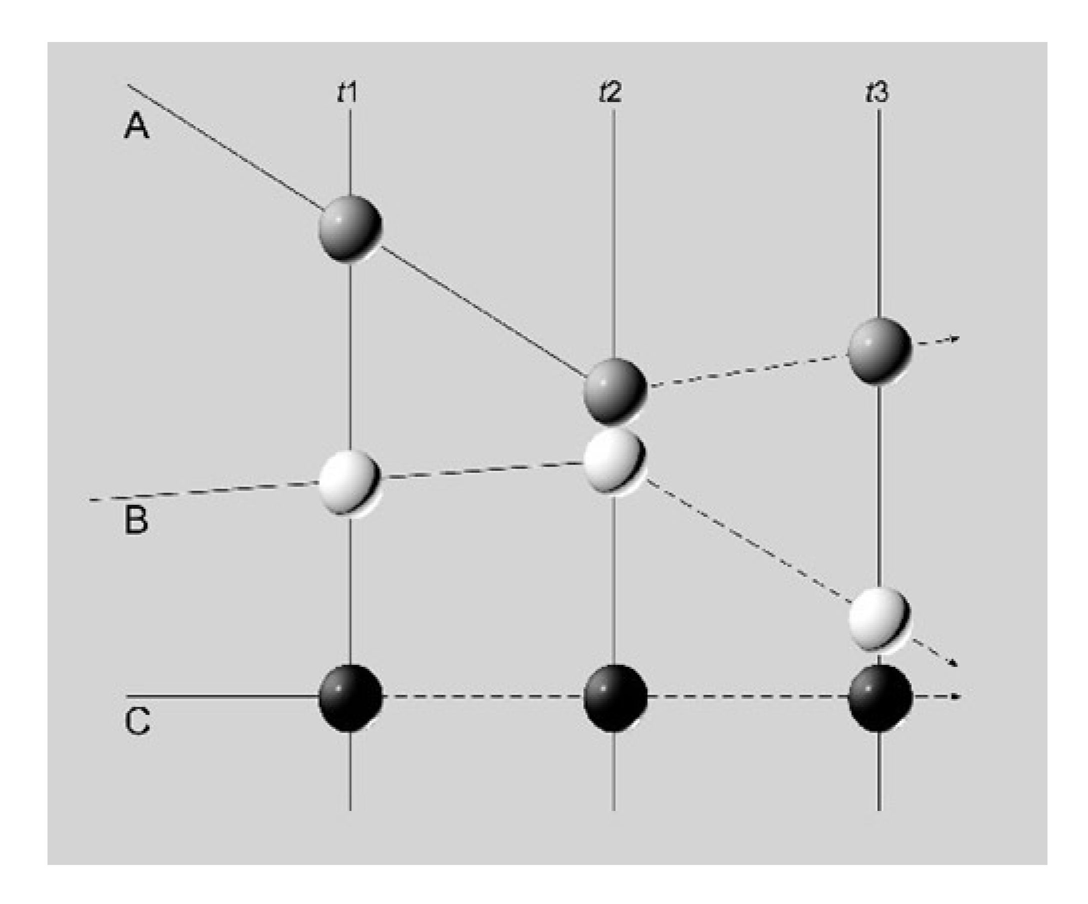
E.P. ¿Y qué genes llevarán la información de un cerebro a otro?

D.D. Los llamados memes.

E.P. ¿Memes?

D.D. Sí, yo utilizo el término de Richard Dawkins, que dice que los memes son como los genes, son las unidades de transmisión y réplica de la cultura.

E.P. Como los genes tradicionales, ¿verdad? Sugieres que para que existan los memes o genes culturales es necesaria una capacidad de comunicación entre distintos cerebros que no existía antes.



Si conocemos con precisión el estado de nuestro Universo en un momento determinado —es decir, la posición, velocidad y dirección de cada una de sus partículas—, usando las leyes científicas podemos prever su evolución en el futuro, hasta la eternidad. En el gráfico se representa el movimiento e interacción de tres partículas en tres instantes de tiempo (t).

D.D. Es cierto, el lenguaje es muy importante, pero no es la única vía. En otras especies también existe cierta transmisión cultural. Por ejemplo, los métodos para construir nidos o excavar madrigueras. Recientemente se ha descubierto que los chimpancés tienen una tradición en la forma de cazar termitas con palo, utilizan un pedazo de esponja para sacar el agua del tronco para beber. Es una transmisión cultural mínima, comparada con la de los humanos, pero existente.

E.P. Tú dices que no es una simple diferencia de grado, sino que es completamente distinto.

D.D. En biología se comienza siempre con las diferencias de grados y luego se aumenta. Por tanto, para nosotros, la cultura no es una cuestión de miles, sino de millones, y no sólo de grados. Es un millón de veces superior a la de los chimpancés. Por ejemplo, si creciéramos en una isla desierta sin cultura humana, no seríamos tan diferentes a un chimpancé. ¿Quién inventaría la aritmética, el lenguaje, la cocina o la agricultura? Estas habilidades tan humanas, estas competencias, se adquieren por transmisión cultural, y es lo que hace nuestra mente. Si piensas en un ser humano, te das cuenta de que su mente no está sólo en el cerebro, sino en la biblioteca, el ordenador, los amigos y todas las herramientas para pensar que ha adquirido a lo largo de su vida. Si se despoja a una persona de estas herramientas, se queda indefensa.

E.P. Vuelvo a mis obsesiones, Dan. ¿Quién se ocupa del cerebro, suponiendo que alguien se ocupe?

D.D. Es una idea que asusta un poco. El cerebro tiene diez mil millones, quizá cien mil millones de neuronas, y eso es todo. Ni una sola neurona sabe quién eres ni le preocupa. Son demasiado estúpidas para esto. Por tanto, tiene que tratarse de una democracia, las neuronas trabajan en equipo y compiten entre ellas sin que nadie se ocupe de ello, porque nadie puede ocuparse de ello. Si todavía existe una teoría de la conciencia con un jefe supremo, es una mala teoría.

E.P. Es como si entráramos en una fábrica y no hubiera nadie.

D.D. Exacto, como una fábrica automatizada, llena de maquinaria, pero vacía. Hay partes del cerebro que sí actúan como agentes responsables del seguimiento de otras partes y, por tanto, son como funcionarios, pero sin conciencia.

E.P. No pueden pensar…

D.D. No, el pensamiento lo generas tú, no las partes de que estás compuesto.

E.P. Por tanto, si alguien quisiera indagar en los poderes desconocidos, invisibles e intangibles del cerebro, habría que decirle que es una pérdida de tiempo.

D.D. De hecho, ni siquiera comprendemos las capacidades del cerebro más elementales, como multiplicar, caminar, o diferenciar una taza de un gato. Son preguntas difíciles de responder, pero no creo que exista ningún poder misterioso en la mente. Creo que con el tiempo llegaremos a explicar todas las capacidades del cerebro en términos normales, biológicos.

E.P. Si observamos el Universo e intentamos extraer conocimiento, ¿de dónde procede el sentido? ¿Existe algo más allá de nuestras percepciones físicas? ¿Cómo llegamos al significado de las cosas? Por mucho que avancemos, seguimos sin alcanzar lo que reclamaba Newton: «Me gustaría conocer los mecanismos —decía, ¿recuerdas?— por los que una percepción visual del Universo se transforma en la gloria de los colores». Dan, seguimos sin entender una cosa tan básica… me recuerda la búsqueda, en vano, de la molécula precursora de la primera célula.

D.D. En primer lugar, ten en cuenta que somos la única especie que se hace este tipo de preguntas. Los perros y los gatos no se sientan a meditar sobre el sentido de la vida ni se preguntan qué lugar ocupan en el mundo. Sus estados tienen significado porque han sido dotados de sentido por la historia evolutiva que los produjo y por su propia experiencia. El perro sabe que una situación visual concreta significa peligro si ese hombre lo pegó con un palo una vez y lo reconoce. De ahí procede su sentido. El cerebro del perro está diseñado para poder extraer de la memoria ese sentido y aplicarlo a un caso concreto. Y esto es todo lo que constituye el sentido. Nuestro cerebro funciona igual, pero nosotros, al tener la capacidad del lenguaje, podemos reflexionar una y otra vez y construir estratos de sentido encima del que obtenemos de nuestra constitución biológica.

E.P. ¿Quieres decir entonces que no existe ninguna percepción prodigiosa, ninguna idea extrasensorial, nada más allá de las neuronas y los átomos?

D.D. Si existe, sabe esconderse de maravilla, porque no se ha podido demostrar.

E.P. Entonces el cerebro no tiene ninguna capacidad prodigiosa.

D.D. Las capacidades del cerebro son prodigiosas. A veces, es increíble lo que puede llegar a hacer el cerebro. Un niño que aprende una lengua extranjera o que va a la escuela, muestra la capacidad prodigiosa del cerebro, que todavía no se ha explicado del todo.

E.P. Entonces ¿qué piensas de la gente que cree identificar supuestos poderes ocultos como transmisiones de pensamiento o viajes en el tiempo? Sé que te parece un disparate…

D.D. Puede que la gente que lo dice lo crea, pero no es verdad. Un ciudadano de Barcelona, Pablo Picasso, dijo «yo no busco, yo encuentro», y me parece una gran explicación de qué es un genio vigilante, aunque no creo que sea verdad. Picasso era un genio, pero sus descubrimientos no son milagrosos, sino fruto de muchas investigaciones anteriores realizadas por él mismo y, volviendo a nuestro terreno, por la selección natural.

E.P. ¿Cuál es, entonces, el papel de la intuición? Einstein dijo que, en último término, los descubrimientos nacen de una gran intuición.

D.D. Es verdad, pero ¿qué es la intuición? Cuando se tiene una idea brillante y se dice que se ha llegado a ella mediante la intuición, en realidad se reconoce que no se sabe cómo se ha llegado a esa idea. En otras palabras, se dice que ha sucedido en el cerebro, en las neuronas en funcionamiento, compitiendo entre ellas, sugiriendo ideas… El cerebro de algunas personas es mejor que el de otras para generar ideas nuevas, probablemente por sus hábitos de pensamiento adquiridos. De hecho, se adiestran a sí mismos para pensar de manera diferente, pero no hay nada extraordinario en ello.

E.P. Dices que es fruto de la voluntad, por tanto.

D.D. Es como el ilusionismo. Si vemos un mago hacer un truco en el escenario, al principio parece extraordinario, imposible y mágico. Y luego, cuando entendemos cómo se ha hecho, decimos que no era sino un truco. La ciencia está demostrando que ocurre lo mismo con el cerebro, que realiza trucos maravillosos.

E.P. Incluida la intuición…

D.D. Incluida la intuición, sin duda.

E.P. ¿Qué se puede decir de la conciencia? Tú eres un experto muy reconocido y has reflexionado mucho sobre la conciencia, aunque te acusen de maldito reduccionista. ¿Se ha producido algún nuevo hallazgo en este campo desde que nos vimos hace un par de años?

D.D. Creo que estamos progresando mucho en la comprensión de la conciencia, ya que la estamos fragmentando en sus partes constitutivas. Y poco a poco desterramos la idea de que es una cosa grande y misteriosa, a la par que nos damos cuenta de que consiste en todas estas partes y que hay grados de conciencia. Si examináramos una bacteria, diríamos que no tiene conciencia en absoluto, que no es más que un pequeño robot. Por supuesto, las células del cerebro son idénticas, también son pequeños robots. Si observamos un árbol, podemos creer que no es consciente. Pero tiene vida, no es consciente pero sí es sensible: distingue el mundo a su alrededor y mide si hace demasiado frío o demasiado calor, si tiene agua suficiente…

E.P. O luz solar…

D.D. Puede sentir que le falta luz y girarse hacia el Sol. Es un tipo de conciencia, una cierta sensibilidad. Mucha gente cree que no se puede partir de esta sensibilidad —la que posee un árbol respecto a la luz o la de los conos y bastones de nuestra retina respecto a la luz— e ir construyendo una conciencia. Porque al fin y al cabo, la lente o la película de una cámara son sensibles…

E.P. Pero no tienen conciencia…

D.D. Pero nuestra retina tampoco tiene conciencia. Sin embargo, a partir de estos tipos de sensibilidad, de reactividad ante las diferencias, se construye la conciencia.

E.P. Algunos biólogos se preguntan si las bacterias tienen conciencia. Es extraordinario ver cómo se mueven las bacterias siguiendo corrientes magnéticas, como si tuvieran conciencia.

D.D. De hecho, la velocidad del movimiento es muy importante. Cuando David Attenborough hizo esa maravillosa serie de televisión sobre la vida secreta de las plantas, titulada *La vida oculta de las plantas*, realizó unas secuencias maravillosas que demostraban que el

crecimiento de las plantas se aceleraba a lo largo de la secuencia fotográfica. Mostraba como crecían, se enredaban y estrangulaban las parras…

E.P. Conscientemente.

D.D. Parecía que las plantas fuesen conscientes. Pero el efecto se produce, simplemente, a causa del tiempo en que se ha producido la reactividad. Si desaceleraras a un ser humano hasta la velocidad de crecimiento de un árbol, diría, muy largamente, «yoooooooooooooooo inteeeeeeeeeeeeeeeeeentoooooooooooooo», y creerías que esta persona no es en absoluto consciente, como un robot. Creemos que los robots no son conscientes, porque los robots parecen cosas tontas, que dicen «SOY - UN - RO - BOT». Pero robots como C3PO y R2D2 de *La guerra de las galaxias* parecen conscientes, porque se mueven a la velocidad correcta, al mismo ritmo temporal que nosostros.

E.P. A propósito de la velocidad, la de la luz es mayor que la del sonido, pero aparentemente el cerebro procesa las imágenes visuales a un ritmo mucho más lento que las sonoras, de modo que a una distancia de diez metros, por ejemplo, el sonido y la imagen visual llegan a la vez al cerebro. Quisiera hacerte dos preguntas. Primera: ¿es esta simultaneidad absolutamente necesaria para que el cerebro pueda entender lo que sucede? Y segunda: ya sé que no hay ningún jefe que se haga cargo del mantenimiento en la fábrica del cuerpo, pero ¿existe un punto en el que esa luz, esas entradas de impresión visual y sonora coincidan?

D.D. No es un sólo punto, sino muchos y sucede en momentos diferentes. Si entendemos que no hay ningún lugar del cerebro en que importe la llegada —ya sabes: «ahora que hemos llegado aquí, hemos alcanzado la conciencia, hemos cruzado la línea de llegada»—, puede haber dos puntos en el cerebro, diez o dos mil. Y en un punto la información de la luz llega antes que la información del sonido y en otro punto llegan en un orden diferente. El cerebro debe poder ordenarlo todo y se le puede engañar. No existe ningún lugar oficial. Por tanto, la pregunta sobre qué proceso se inició antes en la conciencia, la luz o el sonido, es una pregunta mal formulada que no tiene respuesta.

E.P. ¿Y qué sucede cuando el cerebro le dice a un dedo del pie que haga algo mientras le dice a la vista que mire otra cosa? La distancia del cerebro al dedo del pie es mayor que la distancia del cerebro a la vista, por tanto los tiempos pueden ser diferentes. ¿Cómo logra juntarlos?

D.D. El cerebro ha dispuesto de mucho tiempo, de todo el tiempo de la evolución, para encontrar una solución a este problema y la ha encontrado. Cuando el cerebro inicia algún comportamiento enviando señales motoras y envía una expectativa, espera obtener ciertos resultados después de cierto tiempo. Es un poco como si le enviaras una carta a alguien que vive en California: no cuentas con tener una respuesta el día siguiente, pero sí al cabo de una semana. Se puede engañar al cerebro, haciéndole llegar las señales demasiado rápido, y creando una experiencia anómala para el cerebro, porque ya ha previsto el tiempo de espera dentro de sus expectativas. Al fin y al cabo, la única manera de confundir al cerebro respecto a las simultaneidades o la falta de ellas es contradiciendo y anulando sus expectativas. En la medida en que las cosas suceden como el cerebro espera que sucedan, todo va bien.

El poder de la mente

Deepak Chopra

«Es la conciencia la que modula la materia.»

A medida que transcurren los años me sorprenden nuevos ejemplos de la capacidad del cerebro para ajustarse al curso de la vida sin crear sobresaltos. El cerebro se encarga de borrar de la memoria de un hombre la apariencia que tenía de joven, para que su rostro envejecido y el transcurso del tiempo le parezcan normales cuando se mira al espejo por la mañana y no sufra. Si para sobrevivir es necesario que la tristeza no perdure siempre, el cerebro actúa de modo que transcurridos dos años, la intensidad del dolor decline a un tercio del dolor inicial. Se ha demostrado que a los sesenta y cinco años la retina humana ha perdido en torno al treinta por ciento de su luminosidad, aunque el sol brille más, pero el cerebro intenta ocultar la decadencia de las facultades, hasta que una noche, conduciendo por una autopista ya casi no se ve nada. ¿Acaso el cerebro intenta disminuir la incidencia en la mente de los cambios metabólicos y viceversa?

El efecto placebo y el efecto nocebo —todavía más extraordinario— son la versión fisiológica del enredo mental en el que el cerebro diseña su estrategia ilusoria. El efecto placebo es el provocado por píldoras diseñadas para que no tengan efecto, pero que inciden en el paciente. En cambio, en el efecto nocebo las revelaciones francas de un médico de cabecera sobre la inminencia de un proceso degenerativo del enfermo desencadenan y aceleran dicho proceso, como ha puesto de manifiesto Stephen M. Kosslyn, entre otros.

Partiendo de estas premisas —no olvidemos el punto de partida de esta reflexión: el estado consciente se genera en circuitos neurales activados por percepciones visuales o sentidos, como ha dicho Dennett—

nadie se extrañará de que esquemas de pensamiento antitético se acerquen y se encuentren.

«Es la conciencia la que modula la materia y no al revés —afirma el médico y filósofo Deepak Chopra desde su bello recinto de meditación en San Diego, California—. Si el mismísimo Dennett admite que la conciencia existe, aunque sea idéntica a estados cerebrales físicos, quizás es conveniente dar entrada en el debate a gente como Chopra, que nunca puso en tela de juicio su existencia.»

Deepak Chopra es uno de los especialistas más incisivos de los que se dedican exclusiva e independientemente a la reflexión. Su audiencia preferida no es la comunidad científica, sino la que el editor del premio Nobel Francis Crick, según el neurólogo Ramachandran, llamaba «la gente de la calle», al sugerirle al descubridor de la estructura de la molécula del ADN que intentara transmitir sus hallazgos a la gente corriente y que, a raíz de ese diálogo, puliera el estilo farragosamente académico del libro que intentaba publicar.

EDUARDO PUNSET. Has dicho que en lugar de crear conscientemente enfermedades deberíamos concentrarnos en cultivar la salud. ¿A qué te refieres exactamente?

DEEPAK CHOPRA. Mi idea es que centrarse en algo conlleva volverlo más sólido. Si quieres enriquecerte, no debes profundizar en la pobreza ni sus mecanismos. Si quieres mejorar tu salud, no debes pensar en la enfermedad ni sus mecanismos. En la facultad de medicina se estudia mucho la enfermedad, pero no la salud. La salud es la ausencia de enfermedad, un estado de felicidad, creatividad, vivacidad, vitalidad… Bienestar físico, emocional y espiritual, en suma.

E.P. ¿Existe algún sistema para alcanzar el bienestar? Pensaba en la posición del cuerpo, la respiración, la meditación…

D.C. El cuerpo humano ha evolucionado durante millones de años y ha desarrollado procesos internos de curación. Si duermes en el suelo y te hieres, no mueres desangrado porque tu cuerpo inicia un proceso de coagulación que detiene la hemorragia. Si coges una infección, tu organismo sintetiza inmediatamente un anticuerpo con efecto preciso

sobre esa infección en particular. Si nunca has estado expuesto a neumococos pero tu abuelo sí, las células inmunitarias de tu organismo recuerdan cómo combatir los gérmenes. El cuerpo humano es la mejor farmacia que pueda existir: sintetiza tranquilizantes, sustancias para dormir, anticuerpos, células inmunitarias, fármacos contra el cáncer y antiinflamatorios. Si surge una necesidad, el cuerpo lleva a cabo la síntesis correcta, en el momento correcto, para un órgano concreto y sin efectos secundarios.

E.P. En un libro tuyo cuentas que te matriculaste en la facultad de medicina para hallar el sentido de la vida, pero casi sólo te mostraban cadáveres, cuerpos sin vida. Entonces te preguntaste si era el mejor lugar para estudiar el sentido de la vida, ¿verdad?

D.C. Sí, es cierto. Los modelos médicos se basan en una percepción newtoniana del mundo y representan un modelo mecanicista, materialista. Es decir que se considera que el cuerpo humano es básicamente anatómico y, por tanto, conociendo su funcionamiento se puede explicar todo, sea poesía, música, arte o ciencia, porque todo proviene de las moléculas. Y es una superstición, porque el cuerpo humano no es atómico en absoluto, sino una mezcla de moléculas, energía e información. Y desde la perspectiva de la física, el cuerpo está formado por átomos con toda su información, porque las moléculas que constituyen el cuerpo están formadas por átomos y los átomos contienen niveles de información y energía. Casi se podría decir que los pensamientos son nubes de fotones. Si pudiera observar tu mente mientras piensas, vería nubes de fotones con bandas de información moduladas por frecuencias, como las emisoras de radio FM. Y como consecuencia de estos componentes neuroquímicos, al pensar convertimos la información en energía y materia.

E.P. Es decir, que es exactamente al revés de lo que dicen otros: la conciencia puede modular la materia.

D.C. Exacto, la conciencia es la fuente de información y, a la vez, una fuente de energía y ésta, a su vez, una fuente de materia.

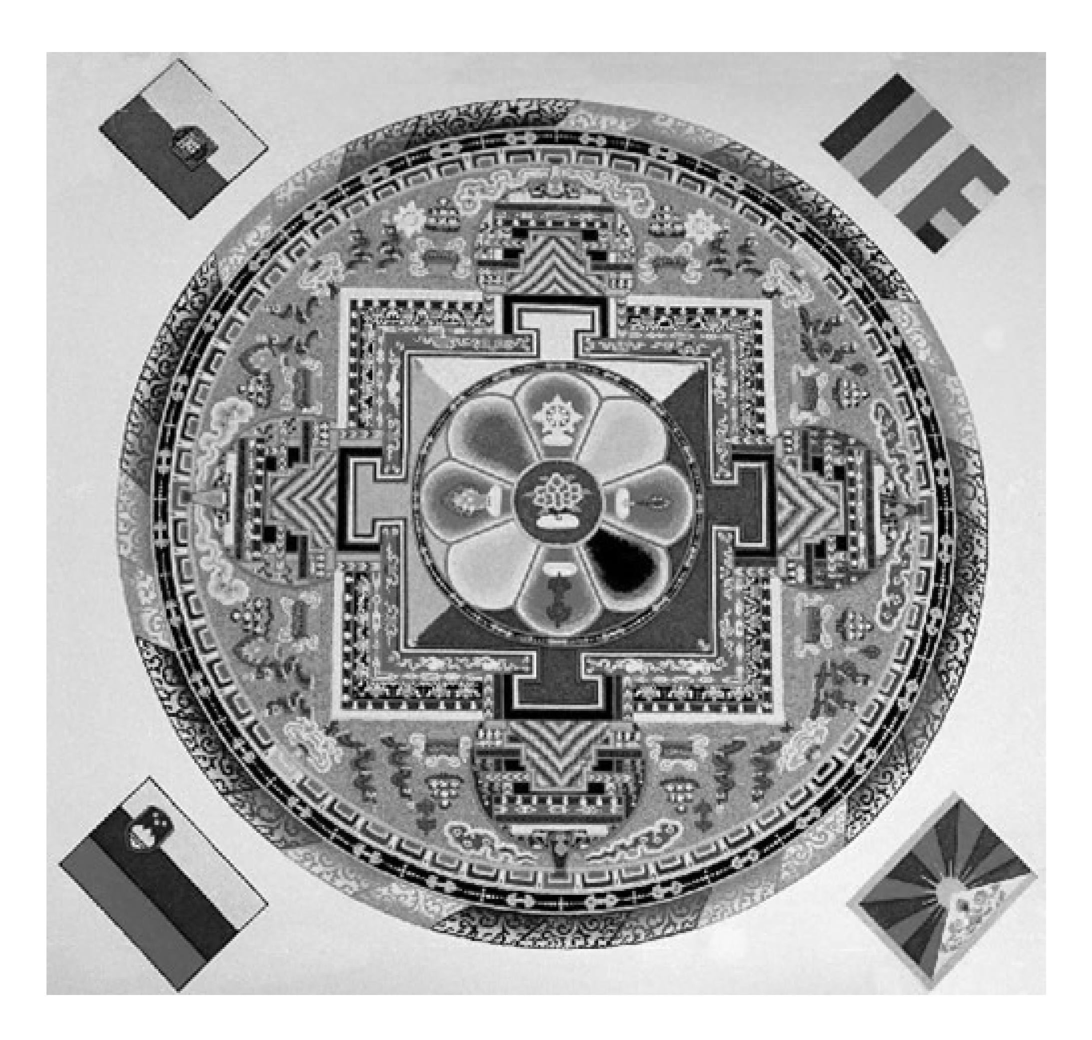
E.P. ¿Sostienes que diferentes estados de conciencia se traducen en diferentes niveles de inmunorreactividad, metabolismo y otras funciones corporales?

D.C. Sí, es una idea muy avanzada: la fisiología, el sistema autoinmune, el sistema nervioso, el endocrino e incluso la conducta están influenciados por el estado de conciencia. Si se tiene un estado de conciencia temeroso, el nivel de inmunidad será muy bajo, no funcionará bien. Por el contrario, se ha demostrado que las células inmunitarias producirán tranquilizantes similares a los medicamentos que tomamos si se está tranquilo. La diferencia es que se permite a las células inmunitarias que hagan su trabajo tranquilamente, y la molécula sólo va a donde se genera el impulso.

E.P. ¿Se parecen, entonces, esta teoría y la voluntad de la gente de la calle de pensar positivamente para sentirse bien?

D.C. No se puede comparar porque pensar positivamente puede ser una impostura muy artificiosa. Pensar es un proceso espontáneo, como respirar. Querer tener pensamientos positivos y evitar los negativos hace que los negativos se vuelvan más intensos, y se acumula mucho estrés. Es decir, la voluntad de pensar sólo en positivo es muy estresante. Es necesario no pensar en todo a la vez y crear un estado de tranquilidad vital y de calma interior. Si el cuerpo y la mente están calmados, la inteligencia interior surge del cuerpo espontáneamente. Es muy sorprendente, teniendo en cuenta que la inteligencia interior está codificada en dos simples tiras de ADN. Esta inteligencia se refleja en las células del corazón, del riñón, del cerebro y del ojo. De hecho, toda la poesía, la arquitectura y la música que se ha creado no tienen nada que ver con el hecho de pensar positivamente, sino que son fruto del flujo espontáneo de energía, información e inteligencia, porque la información que se nutre a través de sí misma no es una información muerta, sino viva. Así que la información viva o la inteligencia evoca espontáneamente las llamadas morfogénesis y diferenciación. Probablemente existe un nivel que está más allá de los campos electromagnéticos que todavía no se ha demostrado. Pero incluso desde la perspectiva de los campos electromagnéticos, los

pensamientos son agrupaciones de fotones. Cada experiencia subjetiva tiene su correspondiente campo electromagnético fluctuante, asociado al mismo y, literalmente, conforman bloques de información. Mis pensamientos no están fuera del campo, sino dentro de él. El gran poeta indio Rumi lo dijo ya en el siglo XIII: «Yo he vivido en plena locura, buscando razones, llamando a la puerta. La puerta se abre, he estado llamando desde dentro». Quiere decir que mis propios pensamientos son parte de este campo y no se pueden separar sin salir del Universo, idea imposible incluso teóricamente. Yo creo que los campos electromagnéticos nos conectan con nuestro entorno y se está aplicando este concepto en el ámbito tecnológico. Rupert Shaldrake dice que existe un nivel más allá de los campos electromagnéticos, porque incluso antes de pensar algo… imagina que cerramos los ojos… antes de tener ese pensamiento, ¿dónde estaba el pensamiento? Si pensamos en Hawai, surge una agrupación de fotones y energía electromagnética. Pero ¿dónde estaba Hawai antes? Si examinásemos el interior del cerebro, ¿encontraríamos una molécula llamada Hawai? La respuesta es no. Según investigaciones recientes, el cerebro no es estacionario sino que está cambiando constantemente. Las conexiones entre dendritas, las conexiones neuronales y el propio cerebro son completamente no-estacionarios, porque no almacenan memoria. La memoria es actualizada por el cerebro, y una vez se activa surgen las agrupaciones de fotones y las ondas electromagnéticas, pero antes de ser activada ni siquiera está presente en el cerebro.



El impacto de la mente en el cuerpo. Un mandala tibetano, representación simbólica de la evolución e involución del Universo en relación con un punto central.

E.P. ¿Se puede afirmar que las respuestas a las grandes preguntas como «de dónde venimos» o «a dónde vamos» anteriores al siglo XVIII son meras supersticiones?

D.C. Sí, gran parte de las ideas anteriores al nacimiento de la ciencia eran supersticiones. Tendemos a juzgar las antiguas civilizaciones por sus figuras más relevantes. Identificamos Grecia con Pitágoras, Sócrates, Aristóteles y Platón, como si fueran la civilización griega, pero Grecia era, principalmente, bárbara. A mi juicio, hoy en día tenemos la oportunidad, por vez primera, de contar con un grupo de analistas que tienen acceso a información directa sobre la dinámica de la creatividad

y la visión a través de los medios de comunicación. Creo que es la primera vez en la historia que la ciencia es la ventana y la investigación científica despierta entusiasmo.

Capítulo VIII

Destruir las barreras del espacio y del tiempo

Paul Davies

Nicholas Humphrey

Paul Davies, físico australiano, profesor del Centro de Astrobiología de la Universidad Macquarie, en Sydney, donde investiga cosmología, teoría cuántica de campos y astrobiología. Sus trabajos como divulgador, entre los que se encuentra su libro *Cómo construir una máquina del tiempo*, han sido aclamados en los cinco continentes.

Nicholas Humphrey, psicólogo de la Universidad de Economía de Londres y en la Nueva Escuela de Investigaciones Sociales, donde ha estudiado la evolución de la inteligencia y la conciencia humanas. Fue el impulsor de la teoría que proponía la función social del intelecto.

La máquina del tiempo

Paul Davies

«Viajar al futuro es un efecto real. Viajar al pasado es más problemático.»

Hace cien años, nadie creía que podríamos viajar por el espacio y ahora, sin embargo, no encontramos ninguna objeción física para pensar que en el futuro se podrá viajar en el tiempo.

Entretanto, la gente intenta comprender qué quería decir Einstein cuando se refería al tiempo como una ilusión, y aprende a distinguir entre tiempo físico y tiempo psicológico; todo el mundo ha experimentado que parece más largo el desplazamiento de casa al restaurante que el trayecto de vuelta, o disfruta rompiendo las barreras del espacio y del tiempo soñando por la noche.

Mucho antes de que Einstein formulara la Teoría Especial de la Relatividad, la humanidad ya había intuido y experimentado en sus propias carnes que el calendario no refleja, exactamente, el proceso real. Una de las exclamaciones más repetidas a lo largo de la evolución por los mamíferos dotados de lenguaje es «¡qué breve es la vida!», sin excluir por ello a los que, tanto desde la razón como desde la esquizofrenia, la consideran demasiado larga y abarrotada de acontecimientos. La cuestión es que, mentalmente, estamos más preparados para viajar en el tiempo que para viajar al espacio. El físico australiano Paul Davies ha dedicado gran parte de su vida a diseñar una máquina del tiempo.

Paul Davies es un físico reconocido internacionalmente. Es profesor de filosofía natural en el Centro Australiano de Astrobiología de la Universidad Macquarie en Sydney.

PAUL DAVIES. Viajamos en el tiempo, en cierta medida, pero sólo hacia el futuro, nunca de regreso al pasado. Y la dificultad de viajar al pasado depende, todavía, de una tecnología muy avanzada. Si me preguntaras si dentro de cien años viajaremos hacia el futuro y a una gran distancia, te diría que es completamente posible, aunque yo creo que llevará mucho más tiempo hallar cómo viajar al pasado.

EDUARDO PUNSET. Hablemos del viaje al futuro. Quiero decir que ya se ha demostrado, con los llamados relojes atómicos, que el tiempo no es un valor universal y absoluto, como creía Newton. Como tú dices, «mi tiempo no es tu tiempo» y, quizá, la mejor manera de entrar en materia sea recordar la historia, o la paradoja, de los gemelos…

P.D. Yo la llamo el efecto de los gemelos, introducido por Einstein en su famoso artículo de 1905, que formulaba la llamada Teoría Especial de la Relatividad, que representó un cambio definitivo en la idea newtoniana de que el tiempo es universal y absoluto, idéntico para todos en todas partes. Einstein dijo que tu tiempo y mi tiempo pueden ser diferentes si nos estamos desplazando de forma diferente, y lo ilustró con la historia de los gemelos. Imagina que somos gemelos y yo viajo en un cohete a una velocidad próxima a la de la luz durante un año de mi tiempo. A mi vuelta, habrán transcurrido diez años de los de la Tierra. Yo estaré convencido de que ha transcurrido un año y tú de que han transcurrido diez. Los dos tendremos razón y, de hecho, yo habré avanzado nueve años en tu futuro, ya que han pasado diez años para ti y uno para mí. De manera que si lleváramos a cabo esto en enero de 2005, tardaría sólo un año el llegar al año terrestre de 2015. Es, en cierta forma, un viaje al futuro, un efecto real. Lo he descrito en términos de avanzar años hacia delante, aunque todavía no se puede realizar porque no podemos viajar a una velocidad cercana a la de la luz. Como mucho, podemos viajar a un 0,1 por ciento de la velocidad de la luz. Y a este tipo de velocidades el efecto es muy pequeño, pero real, y es posible medirlo utilizando relojes atómicos. No se trata, pues, de una predicción teórica, sino de un efecto real. Ciertamente, se puede viajar en el tiempo y cuanto más rápido se viaje, más se adelantará el tiempo.

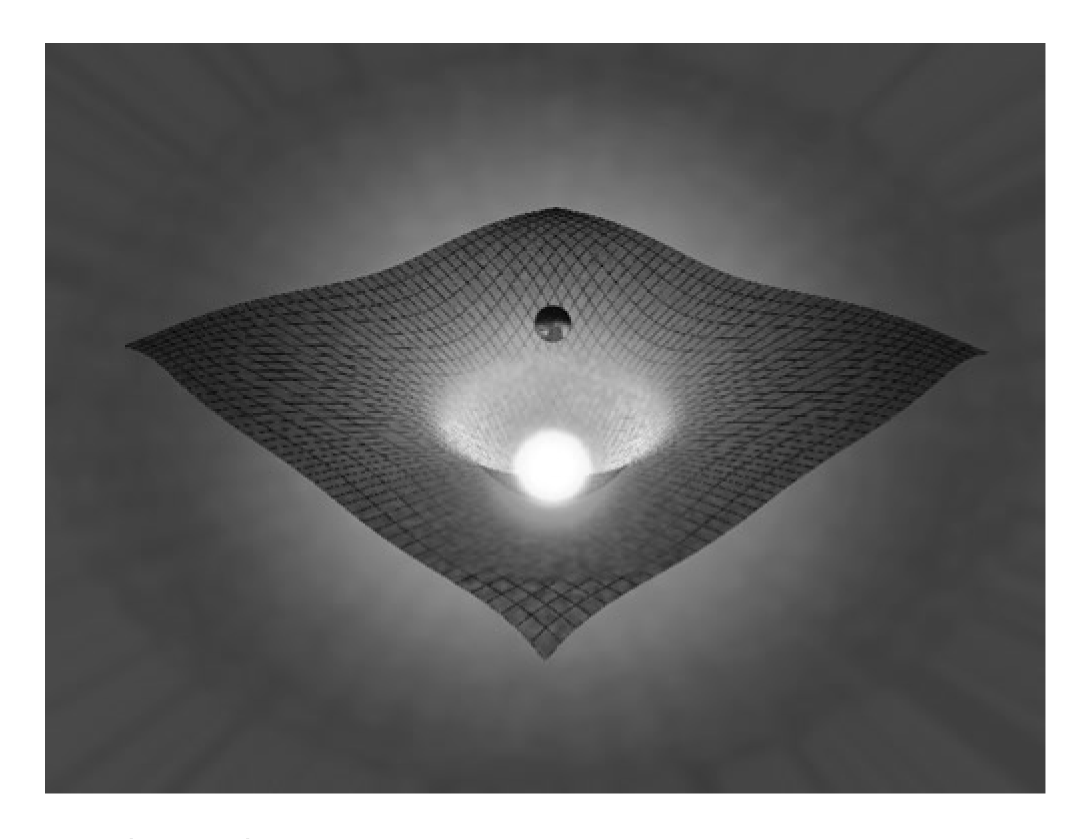
E.P. Paul, corrígeme si me equivoco, pero quiere decir que si pudiera viajar a una velocidad cercana a la de la luz, podría viajar a una estrella que se encuentra a una distancia de cien años luz en diez años, un período de tiempo muy humano, ¿verdad?

P.D. Es correcto. Se puede viajar a distancias muy largas en poco tiempo utilizando el llamado efecto de contracción del tiempo (*time warping*) o de dilatación del tiempo (*time dilation*). Basta con observar los objetos que viajan a mayor velocidad, como los rayos cósmicos que viajan casi a la velocidad de la luz. Los rayos cósmicos de alta energía son tan rápidos que, en medidas de la Tierra, viajan a la misma velocidad que la luz. Los rayos cósmicos de alta energía pueden cruzar toda la galaxia en minutos —medidos en su sistema de referencia—, pero a nosotros, que los observamos desde la Tierra, nos parece que tardan cien mil años en cruzar la galaxia. De manera que, por medio del efecto de contracción del tiempo a gran velocidad, un viaje de cien mil sólo duraría, en realidad, unos minutos. Es sólo un ejemplo del enorme efecto de la contracción del tiempo. Creo que ni los escritores de ciencia-ficción han imaginado que podamos tener naves espaciales que puedan viajar a una velocidad cercana a la de la luz. Pero es muy factible imaginar que un nuevo sistema de propulsión pueda impulsar una nave espacial al 90 por ciento de la velocidad de la luz y, entonces, estos efectos de contracción del tiempo serían ya muy significativos.

Mientras Paul hablaba, me parecía comprender mejor la imagen arrugada del espacio-tiempo en que gravita un cuerpo celeste. Él hablaba sólo de la velocidad, pensando en los efectos de la relatividad especial que introdujo el concepto de tiempo relativo. El tiempo, al que Newton se refería como una magnitud absoluta, depende de hecho del movimiento, de ahí que el tiempo transcurre más despacio para el observador que viaja a una velocidad mayor. Pero parece que la gravedad también provoca esta contracción y dilatación del tiempo. Según el postulado más revolucionario de la relatividad general, el espacio en el que vivimos es curvo y la gravitación es la manifestación de esta curvatura. Por tanto, se puede entender el movimiento de los astros como una simple caída de los cuerpos

más ligeros hacia los más pesados, provocada por la deformación del espacio alrededor de los objetos de mayor masa, como las estrellas o los agujeros negros.

E.P. Es increíble. ¿No es muy confuso dada nuestra vieja forma de medir el tiempo? Diferenciamos el presente, el pasado y el futuro como si el tiempo fluyera regularmente, pero por lo que dices es posible que el tiempo no fluya del pasado al presente y del presente al futuro. ¿Es una idea que tenemos que desterrar? Quiero decir ¿los científicos acabarán con el flujo del tiempo y quizá con la ansiedad que causan la muerte o el nacimiento?



Representación infográfica de la curvatura del espacio. La Tierra cae hacia el Sol debido a la curvatura del espacio provocada por la gran masa del astro rey.

P.D. Einstein escribió una carta a un amigo en la que le decía que el pasado, el presente y el futuro son sólo una ilusión, aunque muy persistente. Dijo que los físicos consideramos el pasado, el presente y el futuro como construcciones de la mente humana que, en realidad, no existen.

Y el presente y el futuro se pueden cuestionar a partir de los efectos de contracción del tiempo. Es un mensaje importante de la teoría de la relatividad de Einstein: si puedo viajar en una nave espacial y vuelvo a la Tierra y me doy cuenta de que la pareja de gemelos ya no son gemelos, entonces preguntas como «¿qué está haciendo ahora mi gemelo?» no tendrán sentido: si viajo en un cohete muy deprisa, mi tiempo y tu tiempo ya no están sincronizados y no existe un ahora ni un presente común. Y este argumento también sirve para el concepto de estar en el mismo tiempo. Einstein lo formuló en su artículo de 1905, y desde entonces los físicos aceptan la concepción del tiempo en su totalidad, en lugar de dividido en presente, pasado y futuro. Me gusta emplear términos como paisaje temporal (*timescape*) o paisaje espacial (*landscape*), bastante extendidos. Los físicos piensan como si todo el tiempo estuviera establecido desde antes de la existencia humana, sin presente, pasado o futuro. Aunque, en la vida humana, no tiene sentido, porque es necesario poder decir aquí o ahora. Pero si preguntamos qué está sucediendo en Marte ahora, la pregunta es ambigua, porque el suceso de Marte al que nos referimos depende del sistema de referencia del observador. Y con distancias mayores, si preguntamos qué está sucediendo en una galaxia muy distante ahora, entonces la definición de qué es ahora puede variar en miles de años, dependiendo de si estamos sentados o caminando, por el efecto de la contracción del tiempo. De manera que esta división tan clara entre el pasado, el presente y el futuro se desvanece si tenemos en cuenta los efectos del movimiento del observador en el tiempo.

E.P. En el caso de Marte, la diferencia es de veinte minutos, ¿verdad? Es el tiempo que tarda la información en llegar, de manera que decir ahora es muy ambiguo si ese ahora se refiere a Marte…

P.D. Existe una gama de momentos e instantes de tiempo que se podrían considerar al mismo momento que nuestra conversación.

E.P. La pregunta más compleja no se refiere a viajar al futuro, sino al pasado. En tus libros dices que puede ser absurdo si no se salvan ciertas paradojas. Una paradoja desvela la imposibilidad absoluta de

viajar al pasado. Si una persona viaja al pasado, se encuentra con su abuela y la asesina, aparece la paradoja porque el asesino no podría haber nacido. ¿Cómo se puede resolver esta paradoja?

P.D. De entrada, hay que decir que viajar al revés en el tiempo, viajar al pasado, es mucho más problemático que viajar al futuro. Es irrefutable que no se puede viajar al pasado por el mero proceso de viajar a una velocidad cercana a la de la luz, porque así sólo se mueve el tiempo hacia delante, no hacia atrás. Para ir hacia atrás en el tiempo es necesario un método mucho más complejo. Mi método preferido es el del agujero de gusano en el espacio. Respondiendo a tu pregunta sobre si se puede viajar al pasado y qué nos lo impide, una respuesta es que, al cambiar el pasado, podría no ser coherente con el futuro. La paradoja más famosa es la que has contado, muy conocida por los amantes de la ciencia-ficción fascinados por los relatos de viajes en el tiempo. Por ejemplo, si se modifica el pasado matando a tu propia abuela, se impone la pregunta de cómo habría podido nacer el nieto. Y si no ha nacido, ¿cómo puede viajar en el tiempo y cometer el crimen? La ciencia da una descripción coherente de la realidad. No sería científico que se planteara una verdadera paradoja. Pero esto no singnifica que no podamos ser parte del pasado o que las causas no puedan regresar en el tiempo. Te pondré un ejemplo muy simple: imagina que en lugar de viajar en el tiempo y asesinar a su abuela, el viajero regrese en el tiempo y salve a una chica joven que se está ahogando en un río, y que es su abuela. Entonces, la historia es coherente. De manera que mientras las relaciones causales y temporales sean coherentes, no existe una objeción fundamental a viajar al pasado o a enviar señales al pasado. Pero las relaciones causales deben ser coherentes, no pueden ser paradojas incoherentes. Sin embargo, esto no significa que no se pueda decir que no es posible viajar al pasado.

E.P. Luego analizaremos cómo se puede realizar este viaje, si es posible. Pero primero intentemos rebatir otra paradoja que a menudo se pone como ejemplo de la imposibilidad del viaje al pasado. No existen turistas en el tiempo, personas que viajen del año 3000 a la

Crucifixión, en el año cero o uno. Pero si existiera el viaje en el tiempo, mucha gente del futuro viajaría al pasado. ¿Qué te parece esta paradoja?

P.D. Tienes razón, si el viaje en el tiempo fuera posible, un viajero del futuro se trasladaría a este estudio y nos demostraría que es posible viajar al pasado. Por tanto, no existen turistas del futuro. Pero desde nuestro entendimiento actual de la física, todas las máquinas del tiempo que se han propuesto hasta la fecha no se pueden utilizar para regresar en el tiempo a una fecha anterior a la construcción de la máquina. Es decir que si dentro de cien años conseguimos descubrir una máquina del tiempo que regrese al pasado, no podremos utilizarla para regresar a este presente, porque cuesta más de cien años crear una relación temporal de cien años. De manera que, por ejemplo, se podría tardar ciento diez años en crear una máquina que pueda regresar cien años, pero no se puede utilizar para regresar doscientos años. No existe ninguna posibilidad de que nuestros descendientes construyan una máquina del tiempo con la que puedan visitarnos. La única posibilidad de encontrarnos con turistas del futuro es que una civilización de alienígenas hubiese fabricado una máquina del tiempo mucho antes y se la hubieran prestado a nuestros descendientes. Entonces sí podrían viajar a nuestro presente. De manera que el hecho de que no aparezcan turistas del tiempo sólo significa que la máquina del tiempo no se ha podido construir o que no hay alienígenas que se la presten a nuestros descendientes.

E.P. Podríamos concluir que lo mejor es darse prisa en fabricar la máquina del tiempo, porque las personas del futuro sólo podrán regresar al momento en que la máquina se construyó. En tu maravilloso libro *Cómo construir una máquina del tiempo* enumeras tres cosas absolutamente esenciales para construir una máquina del tiempo: un colisionador, un implosionador y un diferenciador. ¿Puedes explicarlo un poco?

P.D. El aspecto esencial de la máquina del tiempo que propongo se llama agujero de gusano en el espacio. Intentaré explicarte qué significa, porque mucha gente desconoce el concepto de agujero negro. Se puede

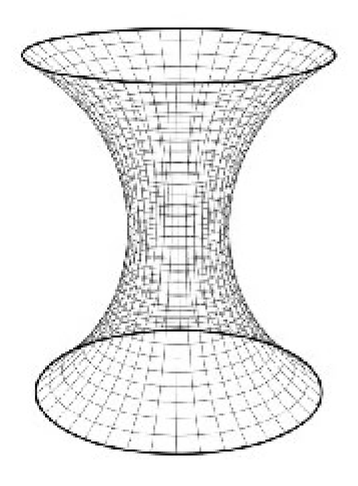
entrar en un agujero negro, pero no se puede salir; es como un viaje de ida a ninguna parte. Un agujero de gusano será como un agujero negro, pero además de entrada tendrá salida: se podrá mirar por un extremo y ver el otro lado. Si hubiera un agujero de gusano en mi estudio de Sydney y saltara a su interior, no saldría en otro barrio periférico de la ciudad sino en el otro extremo de la galaxia. A veces, en ciencia-ficción, el agujero de gusano se llama puerta de las estrellas (*star-gate*). Carl Sagan lo popularizó en su novela *Contacto*, en la que aparece un agujero de gusano que tiene una entrada en Japón y la salida cerca de la estrella Vega. Si has visto la película basada en la novela, te acordarás que Jodie Foster es arrojada al interior de ese agujero de gusano, dentro de un objeto esférico. En la apertura, el agujero de gusano se asemeja a una batidora de cocina gigante. La ciencia-ficción ha recurrido mucho a la idea de que existe una puerta estelar o un agujero de gusano que conecta dos puntos distantes en el espacio por un atajo, de modo que se puede saltar dentro y salir muy lejos. Esta idea, que nació en la ciencia-ficción, fue estudiada por un grupo de científicos del CIT (Instituto de Tecnología de California), que demostraron que, si existiera un agujero de gusano en el espacio, se podría construir una máquina del tiempo. Se adaptaría de manera que si se saltara al agujero no sólo se saliera a otro lugar en el espacio, sino a otro tiempo, futuro o pasado, según cómo se saltara. Por tanto, el primer paso de mi propuesta de construir una máquina del tiempo es encontrar un agujero de gusano, y no es nada fácil, porque en el espacio no existen agujeros de gusanos o todavía no se han encontrado. Además, si existieran serían muy pequeños, de unos diez elevado a la menos veinte veces el tamaño de un núcleo atómico, o sea que un átomo sería gigante comparado con un agujero de gusano, ¡y un humano no cabría! Nos enfrentamos a una tarea muy difícil, ya que casi no sabemos nada de la física de los agujeros de gusano. Tenemos que encontrar la manera de poder llegar a los pequeños intersticios y de ponernos al mando de un agujero de gusano y agrandarlo. De ahí que el primer paso sea utilizar un colisionador de partículas, unos aceleradores enormes que hacen girar subpartículas atómicas a una

velocidad cercana a la de la luz y las hacen colisionar. Si se pudiera realizar con una gran energía, se podrían crear pequeños agujeros de gusanos. En Suiza se está construyendo un gran colisionador, en el Laboratorio Europeo de Física de Partículas, conocido como el Centro Europeo de Investigación Nuclear. Se le ha llamado el gran colisionador de hadrones y estará listo dentro de cinco o seis años. Es posible que si ciertas teorías exóticas sobre la gravitación son correctas, se puedan crear, en esta máquina, agujeros de gusano microscópicos. No se podrán utilizar como máquinas del tiempo porque serán más pequeños que un átomo, pero demostrarán que los agujeros de gusano existen. Para viajar en el tiempo habrá que expandir un agujero de gusano a un tamaño humano. Se sabe que para evitar que se colapsen y se conviertan en agujeros negros, hay que inyectarles energía negativa, una idea sobre la que se especula mucho. Aunque parece una idea de ciencia-ficción, la energía negativa puede existir y se puede crear en el laboratorio por medio de lásers con una determinada configuración, formando pequeñas bolsas de energía negativa. Para hinchar el agujero de gusano, habría que producir cantidades enormes de energía negativa, pero todavía no se sabe cómo hacerlo. En mi libro especulo sobre esta dificultad. Por tanto, si combinamos estas dos tecnologías, la colisión de partículas subatómicas para crear los pequeños agujeros de gusano, y los agrandamos con la energía negativa, entonces habremos completado los primeros dos pasos para construir una máquina del tiempo que funcione.

E.P. Paul, ¿puede que la naturaleza cree, espontáneamente, un agujero de gusano? ¿Puede que en el futuro aparezca un agujero de gusano?

P.D. Existe una posibilidad. Como he dicho antes, el agujero negro tiene energía negativa en su interior y es muy difícil imaginar cómo se suministrará suficiente energía negativa al agujero de gusano para que crezca hasta alcanzar una medida humana. Pero existe la posibilidad de que los propios campos gravitatorios del agujero de gusano creen efectos cuánticos exóticos, efectos relacionados con la naturaleza subatómica de la materia, y que el agujero de gusano cree su propia

energía, es decir que el agujero de gusano se hinche por sí mismo. Entonces surge otra dificultad: evitar que se haga excesivamente grande. Es posible que este proceso exótico ya haya sucedido en la naturaleza, por ejemplo justo después del Big Bang, cuando se creó el Universo, y que los efectos cuánticos exóticos hayan creado agujeros de gusano en el espacio, pero no se han hallado. Los astrónomos persiguen la rúbrica de agujeros de gusano, aunque es difícil imaginar cómo se manifestarán. Quizás, utilizando ciertos tipos de exámenes astronómicos se puedan encontrar agujeros de gusano, del mismo modo que existen agujeros negros. Si los agujeros de gusano existieran, no habría que realizar las complejas operaciones que te he descrito para obtenerlos del espacio-tiempo cuántico dentro de un núcleo atómico.



Agujero de gusano: si se encontrara uno, se podría utilizar como una máquina del tiempo.

E.P. Dos capítulos anteriores de este libro indagan en el misterio de cómo y cuándo la materia inerte cobró vida. Tus colegas astrónomos buscan indicios o biofirmas de procesos complejos como la vida en Marte. Paul, tú sugieres la posibilidad de que la vida naciera en Marte, en lugar de en la Tierra. La idea es que un organismo vivo aterrizó en la Tierra dentro de una roca lanzada por un meteorito de Marte, pero ¿por qué no al revés? ¿Por qué piensas que fue una piedra procedente de Marte la que trajo una bacteria a la Tierra, y no al revés?

P.D. Hoy se siguen desconociendo los procesos químicos que originaron la vida. Sin embargo, se sabe que la vida apareció primero en Marte y luego llegó a la Tierra, porque Marte estaba preparado para la vida mucho antes que la Tierra, hace unos cuatro mil quinientos millones de años: es un planeta más pequeño y se enfrió más deprisa. Durante este tiempo, la Tierra todavía estaba demasiado caliente y como los planetas estaban siendo bombardeados por asteroides enormes y cometas, sus superficies eran lugares muy peligrosos. Por eso creo que la vida nació bajo la superficie, a dos o tres kilómetros bajo tierra, cuando en la superficie seguía haciendo mucho calor, hasta hace unos tres mil ochocientos millones de años. Por tanto, creo que la vida surgió en Marte porque se enfrió más rápidamente. De todas formas, durante el curso de la historia muchas rocas de la Tierra han viajado a Marte y han llevado vida en esa dirección. Pero creo que la vida se originó en Marte y llegó a la Tierra en el interior de esas rocas que se separaron del planeta rojo por cometas y asteroides que lo impactaron.

E.P. Y como Marte es un planeta más pequeño, la fuerza de la gravedad es menor y fue más fácil que las rocas salieran despedidas al espacio después de un choque con meteoritos, ¿verdad?

P.D. Correcto, hay más tráfico de materiales de Marte a la Tierra que en dirección contraria, porque la masa de la Tierra es mayor. De manera que era más fácil que las rocas fueran de Marte a la Tierra.

E.P. Quisiera formularte una última pregunta sobre un tema que ha aparecido repetidas veces a lo largo de nuestra conversación, la relación entre la vida y el procesamiento de la información cuántica, los cuantos y el viaje en el tiempo. ¿Existe alguna manera de explicar esto para que se pueda comprender y resumir las relaciones entre el viaje en el tiempo, el procesamiento de la información cuántica y la vida?

P.D. Creo que el tema que enlaza todas las preguntas es la información. Creo que la vida no aparece mezclando los productos químicos adecuados de forma correcta. Una célula viva no es una mera fórmula mágica, es un sistema de procesamiento y de réplica de información. Creo que el secreto de la vida radica en entender la información. En

los últimos diez años nuestra concepción de la naturaleza de la información se ha transformado a causa del desarrollo de la computación cuántica. Se intenta almacenar y procesar información de nivel atómico utilizando las extrañas reglas de la física cuántica, como hemos apuntado en nuestra conversación. Las mismas reglas peculiares de la física cuántica se aplican a la producción del agujero de gusano cuántico y la idea del viaje en el tiempo utiliza mucho estas ideas. Las paradojas que aparecen en el viaje en el tiempo también están relacionadas con la información. El problema de enviar información hacia el pasado es que crea paradojas. Y el problema no se encuentra en el viaje de los objetos, sino en la información que generan estas paradojas. A mi juicio, está apareciendo otra idea de ciencia en la que la información juega un papel protagonista, en lugar de la materia. Durante siglos los físicos han pensado que la materia es la sustancia primitiva, la base de las teorías físicas. Yo creo que ahora existe un movimiento que concibe la información como la magnitud primaria y la materia como algo que emerge de un entendimiento correcto de la información. Es sólo una conjetura que puede parecer un poco disparatada, pero no soy el único en formularla. John Archibald Wheeler, el físico que acuñó los términos agujero negro y agujero de gusano, también sostiene que la información es la base de todo. Wheeler lo expresa de forma maravillosa, muy poética: dice *«eat from bit»*, que equivale a decir que los objetos físicos emergerán de los bits de información. Se intuye, pues, este proceso de acoplamiento entre información y materia, aunque de momento sólo podemos hacer conjeturas, porque todavía no lo comprendemos del todo.

Aprender soñando

NICHOLAS HUMPHREY

«El papel de los sueños es lanzarnos a situaciones sociales extraordinarias.»

En su libro publicado en 1927 Un experimento con el tiempo, *el ingeniero aeronáutico británico Dunne detalla cómo la imaginación mezcla el futuro y el pasado, deambulando hacia atrás y hacia delante, en un mismo sueño. Como en la máquina del tiempo de Paul Davies, los sueños rompen las barreras del espacio y del tiempo.*

Durante años no hubo manera de dilucidar científicamente cuál de las dos grandes corrientes de pensamiento sobre los sueños tenía razón. Tradicionalmente, la ciencia ha argumentado que el cerebro, acosado por sensaciones incesantes, desviaba lógicamente toda la información estéril al subconsciente, del que nacían los sueños. El objetivo principal del cerebro es distinguir la información necesaria para la supervivencia de la irrelevante. A ojos científicos, pues, los sueños no son más que una especie de ADN basura que acumula restos inactivados en el curso de la evolución. Freud y Jung, los dos gigantes de la psicología, sentaron las bases del pensamiento opuesto, postulando que los sueños eran una manifestación interpretable del subconsciente individual en el caso de Freud, o del inconsciente colectivo —hoy diríamos del cerebro planetario— en el caso de Jung. Entretanto, la ciencia avanzaba casi a regañadientes y con una morosidad extremada en el análisis de los sueños.

La aplicación de técnicas modernas de resonancia magnética ha difuminado la supuesta y nítida separación entre el mundo de la vigilia y de los sueños de la que partían las dos corrientes tradicionales de la psicología. El primer hallazgo verdaderamente intrigante que confería a los sueños cierto perfil de realidad y a la realidad cierto perfil de sueños

fue constatar que se activan el mismo grupo de neuronas al percibir una realidad que al imaginarla. El cerebro no parece diferenciar la imagen visual de los sueños de la percepción de la realidad estando despierto.

La segunda señal de alerta procede de experimentos realizados por neurocientíficos sobre el llamado sueño lúcido, que sugieren la coincidencia del tiempo en que se sueña con el tiempo real. Los sueños no afloran en versión condensada, sino on line, *en tiempo real. Existen demasiadas similitudes del sueño con el mundo de la percepción para descartarlos como genoma residual. Tal vez la ciencia esté corroborando la concepción hindú y precientífica que agrupaba en la conciencia tres fases de un mismo proceso, la vigilia, el sueño sin sueños y los sueños.*

A la vez, la ciencia está acotando el vacío en torno a la funcionalidad de los sueños. Sería paradójico, o inaceptable, que el ser humano dedique tres años de su vida a soñar sin ninguna utilidad. Como explica a continuación Nicholas Humphrey, uno de los psicólogos más prolíficos y refinados de nuestro tiempo, «la teoría darwiniana de la evolución nunca abrigaría tal despilfarro». La investigación sobre los sueños sigue en sus albores, la neurociencia acepta casi unánimemente su relevancia en el aprendizaje evolutivo y el desarrollo de la capacidad para resolver problemas. Es la idea maestra del pensamiento de Nicholas Humphrey.

El psicólogo Nicholas Humphrey es profesor en la Escuela de Economía de Londres. Sus trabajos sobre la evolución de la inteligencia y la conciencia humanas son reconocidos internacionalmente. Estudió el comportamiento de gorilas en Ruanda con Diane Fossey y fue el primero en demostrar la existencia de la visión ciega, la habilidad de responder a estímulos visuales a pesar de no ser consciente de tenerlos, en monos que habían sufrido daños cerebrales.

EDUARDO PUNSET. Parece que a lo largo de la vida humana se dedican una media de tres años a soñar, no sólo a dormir. ¿Es una pérdida de tiempo o soñando se realiza una función desconocida todavía?

NICHOLAS HUMPHREY. Sería muy extraño que todo ese tiempo no sirviera para nada. Creo que soñar realiza una función psicológica y biológica muy importante. Forma parte de nuestro patrimonio

evolutivo y, seguramente, es más importante en los humanos que en cualquier otro animal. Es posible que los animales tengan pequeños sueños, pero no esos sueños narrativos extraordinarios que son como cuentos.

E.P. Es decir que cuando mi perra duerme en el sofá y comienza a ladrar, en realidad no está soñando historias…

N.H. Quizá sienta una emoción relacionada con la caza o la persecución de un gato, pero nada parecido a un sueño humano, ni siquiera al de un niño de seis años. Cuando sueñan, tanto el niño como el adulto son los héroes de su sueño, que se parece mucho a una novela repleta de cosas extraordinarias. La aventura que se protagoniza mientras se sueña es el aspecto crucial de los sueños, aunque muchos científicos crean que pueden explicarlos por medio de la neuroquímica, la inteligencia artificial y la computación, desdeñando el contenido narrativo. Los sueños son tan significativos en la vida humana como la lectura de una novela.

E.P. Los humanos de hoy, los *Homo sapiens sapiens*, somos descendientes directos del hombre de Cromañón. Siempre he pensado que lo que verdaderamente diferencia el hombre de Cromañón del Neandertal —en el capítulo siguiente se profundiza en esta cuestión—, su antecesor inmediato, no es tanto el lenguaje como la vocación fantasiosa y narrativa que aflora continuamente en los sueños. Es sorprendente la necesidad de crear una fábula a raíz de las grandes cuestiones… Es como si sólo nos sedujeran las historias y los cuentos.

N.H. Sí, en ese sentido los sueños son historias paradigmáticas, que se nutren de las primeras historias que escuchamos y, a la vez, nos acostumbramos a los relatos por medio de las historias que construimos en sueños. Los primeros sueños son muy sencillos: gran parte de los héroes de los sueños infantiles son animales, porque las personas parecen demasiado complicadas, mientras que los conejos, los gatos, los perros y los tigres tienen emociones simples. Así que los niños empiezan a formular ideas acerca de qué significa ser un organismo activo, tener emociones, sentir miedo, esperanza, alivio o dolor. Creo que la función principal de los sueños es, precisamente,

ensayar sentimientos, lanzarnos a situaciones sociales extraordinarias para aprender cómo funciona nuestra mente, cómo reaccionamos ante situaciones extrañas que quizá no hemos vivido nunca, pero que puede que ocurran. Te puedo poner un ejemplo magnífico: las comadronas sueñan a menudo que dan a luz, aunque nunca hayan dado a luz. Son mujeres que quizá no son madres, pero diariamente tratan a mujeres que están experimentando los sentimientos extraordinarios que entraña la maternidad. He entrevistado a comadronas que dicen que esos sueños son cruciales, porque les dan una comprensión y una percepción que no podrían obtener de ninguna otra manera.

E.P. Nick, algunos neurocientíficos me han contado que han observado que las neuronas de los niños prematuros se activan cuando sueñan, e invierten casi el ochenta por ciento de su tiempo en soñar.

N.H. Me parece una exageración. Los signos fisiológicos como el movimiento de los ojos al soñar —presente también en ciertos animales— no significan que el sueño sea una verdadera experiencia, cosa que no se produce hasta que el niño se hace un poco mayor. Si despertamos a un niño de dos años mientras muestra estas ondas cerebrales y le preguntamos en qué soñaba, o qué pensaba, el niño contestará que tenía miedo o que estaba muy contento porque comía un helado… cosas muy sencillas. Cuando el niño tiene cuatro años, su sueño se convierte en una narración, en una historia que puede ser dramática y despertarle. «He perdido a mi madre, no sabía hacia dónde ir corriendo, la encuentro pero dentro de una cueva y busco a mi papá, pero se ha caído por el precipicio y yo tenía mucho miedo, y me he puesto a correr y correr y al final me he despertado.» Es a través de este tipo de cuento, mucho más elaborado, que el niño aprende qué es la pérdida, el peligro, la ansiedad. A medida que el niño crece, el sueño es cada vez más elaborado, y se experimenta el enamoramiento, la pérdida de la figura amada, su traición… A través del sueño se aprenden cosas de la vida real, aunque sea en forma de juego. Y no digo la palabra juego en sentido figurado, es como asistir al teatro para

aprender: de Hamlet, aprendemos qué es la traición, el incesto, el odio y la venganza. Las obras de teatro son narraciones como las que se representan en nuestro interior noche tras noche en forma de sueño.

E.P. Afortunadamente, este proceso de autoaprendizaje es diferente de lo que anticipaba Aldous Huxley en *Un mundo feliz*, cuando escribía que cada noche nuestros descendientes tendrán que ver una grabación para saber qué tienen que hacer el día siguiente. ¿O sí se parece?

N.H. Creo que, en parte, tiene razón, pero no se puede pervertir la mente de un hombre o una mujer para que funcione de esta manera. Cuanto más aprendemos de las posibilidades del ser humano, más ricos somos y más éxito tenemos como psicólogos naturales, como yo lo llamo. Casi todo lo que he escrito en los últimos veinte o veinticinco años trata de esta extraordinaria capacidad de comprender a los demás o, como yo lo llamo, de la psicología natural. Los seres humanos somos magníficos psicólogos…

E.P. Porque pueden observar lo que maquinan los cerebros de los demás.

N.H. Leo la mente, me fijo en lo que estás pensando y empiezo a entender tus motivos, tus experiencias, tus sentimientos y tus necesidades.

E.P. Y no sólo eso, sino que además puedes manipularme e influirme.

N.H. Sí, puedo manipularte pero también puedo ayudarte. A esto lo llamé la función social de la inteligencia y, años más tarde, se le dio otro nombre, que no es mío: inteligencia maquiavélica. Me parece un gran error porque el concepto de inteligencia maquiavélica sugiere que la inteligencia se encamina hacia la manipulación, la crueldad y la competición. Creo que la función social de la inteligencia es muy importante porque hace posible el amor, la compasión y una vida social que funcione de manera positiva, y esto no les es posible a los animales. Creo que has entrevistado a Daniel Povinelli. Dany, como yo, cree que los seres humanos son los únicos animales capaces de este tipo de percepción. Ni siquiera los chimpancés ni los perros pueden.

E.P. Luego volveremos a este tema. Si te he entendido bien, has dicho una palabra muy significativa: usas la expresión tiempo de recreo para referirte a los sueños, porque son como simular hechos o procesos que puedes encontrarte en la vida real.

N.H. La simulación es crucial porque, por supuesto, no se trata de algo real y, por consiguiente, no conlleva los peligros ni las consecuencias de las cosas que suceden en la vida real. Exactamente igual que en los juegos de los niños: mientras juegan…

E.P. Desarrollan habilidades…

N.H. Sí, desarrollan habilidades y se entrenan. En particular desarrollan los conceptos que acompañan a este tipo de relaciones. Cuando los niños juegan a ser enemigos, amigos, médicos y enfermeras o piratas, están aprendiendo conceptos psicológicos cruciales para su éxito posterior en la vida.

E.P. Es decir que utilizamos los sueños igual que el piloto usa el simulador de vuelo para aprender a volar.

N.H. Exacto, es una analogía muy acertada.

E.P. ¿Y qué más? Porque el tiempo que pasamos soñando a lo largo de la vida equivale a tres años.

N.H. Sí, en realidad puede que soñemos más de tres años. Y esto demuestra la importancia de la función del sueño. Pero ¿cuántos años juegan los niños antes de experimentar los juegos reales de la vida? Tendrías que ver a mis hijos, lo único que quieren es jugar…

E.P. ¿Qué te parece el llamado sueño precognitivo? Se ha propuesto la utilización de los sueños para predecir las cosas que ocurrirán, como si los sueños tuvieran otra función además de la que sugieres.

N.H. Probablemente sea inevitable que la gente busque y encuentre elementos de su futuro en los sueños. Los seres humanos son muy supersticiosos y buscan todo tipo de fuentes de información acerca del futuro, porque si se pudiera predecir el futuro sería una ventaja extraordinaria. En todas las épocas, desde los albores de la historia de la humanidad, se han buscado señales del futuro tanto en el mundo exterior como en los sueños, porque los sueños son tan extraordinarios y tan abiertos a la interpretación —como estudiaron Freud y Jung— que contienen símbolos, colores y formas que llevan a infinidad de interpretaciones. Por medio de la invención se pueden construir historias que encajen con el futuro. De ahí que si vuelves a examinar un sueño siempre puedes creer que contenía una predicción de futuro.

Creo que es una ilusión y, como todas las ilusiones de precognición, no implica capacidades paranormales, aunque no es sorprendente que creamos en estas cosas porque queremos creerlas. Los seres humanos somos criaturas muy asustadizas, y necesitamos conocer nuestro futuro…

E.P. Somos muy vulnerables en un mundo tan complejo…

N.H. Sí, el mundo asusta y desde que nacemos intentamos encontrarle un sentido, predecirlo para entender quiénes somos, dónde estamos y adónde nos dirigimos. Los sueños ofrecen esta posibilidad, pero creo que son una ilusión, como el psicoanálisis, aunque muy atractiva, porque responde a la búsqueda de sentido.

E.P. Hace años trabajaste con una mona llamada Helen que tenía una clara preferencia por ciertos colores, como los humanos: le encantaba el azul y detestaba el rojo.

N.H. Conozco dos historias relacionadas con los monos. Por una parte los monos tienen preferencias muy marcadas por ciertos colores, pero Helen era una mona especial…

E.P. Era ciega.

N.H. No era ciega, eso es lo extraordinario, pero no podía ver los colores. Los monos normales tienen sentimientos increíbles acerca de los colores, mucho más fuertes que los que creemos que tienen los seres humanos. Los monos no soportan la luz roja. Si introduces un mono en una habitación con luz roja, temblará y se agachará, y si se le expone a luz azul o verde, se calmará.

E.P. Pero ¿sabes que si formulamos la misma pregunta a un ser humano casi el noventa por ciento de la gente prefiere el azul?

N.H. Sí, es verdad, si hablamos de preferencias muy generales como ¿qué tipo de luz te gustaría tener en tu habitación? o ¿bajo qué tipo de cielo te gustaría vivir? Otra cosa muy interesante en casos patológicos es que cuando alguien sufre cierto tipo de daño cerebral, se vuelve mucho más sensible a los colores. Existe una enfermedad que afecta al cerebelo, situado en la parte posterior del cerebro, una parálisis del cerebelo, y las personas que la sufren se agitan y mueven los brazos. Si

están en una habitación con luz azul o si se ponen gafas con cristales azules o verdes se calman, mientras que con gafas rojas su agitación se intensifica hasta que caen al suelo. Es un puro efecto del color.

E.P. De modo que los colores son mucho más importantes de lo que creemos.

N.H. Sin duda, han sido muy importantes a lo largo de la historia. Algunos animales como los monos demuestran unas preferencias muy marcadas. Creo que una de las cosas que sucede con los seres humanos es que los colores han empezado a perder sentido en la vida de la gente civilizada, los colores han dejado de arrastrar las implicaciones biológicas que tenían en el mundo real. Los colores brillantes —rojos, amarillos, azules— nos rodean en cualquier centro comercial o en cualquier semáforo, de modo que han perdido el significado que tenían para los animales primitivos. Para nuestros antecesores, el rojo era el color de la fruta, de las bayas venenosas o de la puesta del Sol que significaba peligro, porque el momento más peligroso del día era la noche, de manera que había que ir con mucho cuidado cuando el Sol y el cielo enrojecían, había que estar alerta y vigilar qué había detrás de ti. Esto lo descubrí con los monos: se ponían muy nerviosos y miraban a su alrededor cuando el cielo se ponía rojo. Si el cielo era azul, los predadores estaban dormidos porque era mediodía y los monos podían relajarse.

E.P. Los animales reaccionan a los colores de la misma manera que nuestros antecesores.

N.H. Creo que se parecen a cómo éramos nosotros hace un millón o dos millones de años.

E.P. ¿Qué opinas del sueño consciente? Me refiero a cuando sueñas pero eres consciente de que estás soñando, en duermevela, el llamado sueño lúcido.

N.H. Sí, el sueño lúcido. Nunca he tenido un sueño lúcido, de manera que sólo lo conozco por la experiencia de otros. Todos los sueños son conscientes: podemos explicar nuestros sentimientos soñados como si los hubiéramos vivido. Pero el sueño lúcido es una forma extraordinaria de sueño en la que el sujeto que sueña es consciente de

que está soñando y puede controlar su sueño y guiarse a sí mismo a través del sueño. De modo que se ha sugerido que si los sueños normales pueden ayudar a aprender y desempeñan un papel de compromiso con la realidad, los sueños lúcidos son todavía mejores, porque en un sueño lúcido puedes construirte un currículum y situarte en una historia específica como si estuvieras ejecutando un juego de ordenador en el que puedes controlar la trama.

E.P. Pero por desgracia no se puede apagar el interruptor…

N.H. No, aunque hay gente que está convencida de que se puede entrenar para tener sueños lúcidos, con un aparato que mide los movimientos de los ojos y que emite una ligera descarga eléctrica para advertirte de que estás soñando. Y con un poco de práctica llegas a ser consciente de que estás soñando y llegas a tener sueños lúcidos.

E.P. ¿Crees que alguna vez llegaremos a obtener algún otro beneficio de los sueños, además del ensayo o del entrenamiento?¿Algo más sofisticado, quizás?

N.H. Es una pregunta muy interesante, porque la gente a menudo pregunta si se puede mejorar la mente humana. Mi intuición es que la mente humana es fruto de un diseño tan complejo, realizado a lo largo de los últimos seis millones de años de evolución —me refiero al momento en que dejamos atrás a los chimpancés—, que nuestra mente está extraordinariamente perfeccionada, y sería muy difícil mejorarla. Cualquier cosa que la cambie o la altere puede parecer una mejora, pero puede tener consecuencias peligrosas en otras áreas. Creo que es mejor dejarla como está, en su forma básica, y estar agradecidos.

E.P. Nick, quisiera preguntarte una cosa que me fascina. Parece que hay dos fases en el sueño. En la primera fase somos capaces de mover nuestro cuerpo mientras dormimos, pero somos incapaces de recordar qué hemos soñado, si hemos soñado. En la segunda, en la fase REM, somos capaces de recordar qué hemos soñado, pero no somos capaces de mover el cuerpo. En cierto modo estamos paralizados.

N.H. Bueno, no es exactamente así. En la primera fase, cuando podemos movernos, no puede haber mucha actividad porque si no caeríamos de la cama. La razón por la que cuando entramos en la fase de sueño

profundo, en la fase REM, el cuerpo se paraliza es porque, de otro modo, sería muy peligroso. Sólo afecta al cuello: se puede hablar y, a veces, se mueven los ojos o se llora. Pero excepto en casos muy raros no nos levantamos de la cama para bajar por la escalera o salir por la puerta.

E.P. Porque nos podríamos matar…

N.H. Ya ha ocurrido. Existe una patología que detiene la aparición de esta inhibición y permite que el cuerpo se mueva y actúe a partir de los sueños. Hay personas que se han encontrado en esas circunstancias y se han sentido impulsadas a cometer crímenes absurdos o acciones extraordinarias. En cierto sentido no son responsables, porque no pretendían hacerlo. Ha habido un par o tres de casos en Estados Unidos en el que un sujeto ha sido declarado no culpable de homicidio porque se encontraba en un estado de sueño profundo en el momento de cometerlo.

E.P. ¿Es bueno soñar? ¿Qué te parece?

N.H. La respuesta es que soñar es bueno si no, no dedicaríamos tanto tiempo soñando. Pero ¿te gustaría dejar de soñar? Quizá de vez en cuando te gustaría no recordar las pesadillas, pero ¿no es una maravilla que pasemos las horas de la noche fabulando increíbles fantasías que nos trasladan a lugares y a relaciones que de otro modo nunca conoceríamos?

E.P. ¿Dices que en los sueños el razonamiento es más complejo y sofisticado que en la vigilia? Creo que la evolución debería hacer que pasáramos más tiempo soñando que pensando.

N.H. Creo que los sueños son una forma de conciencia muy sofisticada, uno de los mayores logros de la mente humana. Es indiscutible que mientras soñamos la mente está en uno de sus momentos más creativos.

E.P. Si soñar es una de las actividades más sofisticadas de la mente humana, está claro que los sueños no son inútiles.

N.H. Eso creo yo, y espero haberte convencido. Si algo está relacionado con la mente humana y el cuerpo de manera inteligente, significa que responde a algún propósito. Y, además, soñar es una gran fuente de

placer. La selección natural de Darwin no lleva a nada en vano.

Capítulo IX

¿Hablaban los neandertales?

Phillip V. Tobias

Ralph Holloway

Steve Pinker

Harry Jerison

Diana Deutsch

Phillip V. Tobias, profesor de Anatomía y Biología Humana de la Universidad de Witwatersrand en Johanesbugo, es experto en nuestros ancestros humanos, especialmente el *Homo australopitecus* y del *Homo habilis*. Fue, además, uno de los líderes de la oposición a la política del *apartheid*.

Ralph Holloway, pionero en el uso de endocastos, reconstrucciones del cerebro obtenidas usando como moldes cráneos fósiles, para estudiar la evolución del cerebro. Este método nos da la única evidencia directa sobre cómo eran los cerebros de nuestros ancestros, ya que el cerebro humano está compuesto por un tejido suave que no fosiliza después de la muerte.

Steve Pinker,psicólogo experimental y director del Centro de Neurociencia Cognitiva en el MIT, en Estados Unidos. Sus trabajos de investigación se centran en cognición visual y en la psicología de lenguaje. En sus publicaciones defiende que el lenguaje es un instinto humano.

Harry Jerison, profesor emérito de Psiquiatría de la Universidad de California, en Los Ángeles, es tal vez el más destacado arqueoneurólogo de nuestros tiempos. Sus estudios sobre el grado de encefalización como medida del tamaño relativo del cerebro son conocidos en todo el mundo.

Diana Deutsch, profesora de Psicología de la Universidad de California, en San Diego, donde lidera investigaciones sobre la percepción y la memoria de sonidos, en particular de la música. Ha descubierto un gran número de paradojas e ilusiones musicales, y ha explorado la forma en que relacionamos los sonidos de la música y los del discurso oral.

El tamaño de nuestro cerebro

Phillip V. Tobias y Ralph Holloway

«No conozco a ningún chimpancé que tenga sentido del futuro.» (P. T.)

«¡La especie humana está perturbada, y por eso fuimos seleccionados!» (R. H.)

Phillip V. Tobias y Ralph Holloway sostienen que los neandertales podían hablar, pero es difícil que puedan demostrarlo científicamente, porque hace trescientos mil años no existían soportes con que grabar un encuentro de una tribu neandertal en una cueva. Y, sin embargo, es muy trascendente responder a la pregunta de si los neandertales hablaban por varias razones: en primer lugar, porque los neandertales convivieron con nuestros antecesores inmediatos y son, por tanto, el fósil más cercano que la evolución nos ha legado. De manera que si no desvela el interrogante del lenguaje con ellos, habrá que presumir que nuestra especie fue la primera en utilizar el lenguaje con propiedad, diferenciándose así de todos los que la precedieron desde un ancestro común con el chimpancé hace seis millones de años.

En segundo lugar, si no se demuestra que los neandertales hablaban, se desdibuja el consenso científico en que el lenguaje es una capacidad genética, a no ser que las mutaciones genéticas necesarias para dar paso al habla se produjeran sólo en la variante cromañón, y no en la neandertal. Con todo, puede que las dos especies no estuvieran tan diferenciadas como para excluir tajantemente la posibilidad de que tuvieran descendientes comunes. Y de haber sido así, la capacidad genética para desarrollar el habla habría sido también una característica neandertal. La evolución extendida en el tiempo geológico no acostumbra a producir sorpresas en el corto espacio de unos centenares de miles de años.

El tema, envuelto todavía en el misterio, que se trata en este capítulo es uno de los interrogantes abiertos más fascinantes de la búsqueda de la evolución de la mente. Partiendo de la fisiología del lenguaje, a continuación se indagará en la cuestión crucial, el tamaño del cerebro y el contenido de la expresión genética necesarios para tener la capacidad de hablar. En el penúltimo peldaño del recorrido parecerá razonable una idea que de entrada se juzgaría disparatada: en la historia de la evolución hubo dos momentos decisivos que llevaron a la comunicación humana. El primer peldaño lo escalaron los organismos híbridos de reptil y mamífero hace doscientos millones de años. Forzados a vivir en un nicho crepuscular bastante oscuro, estos híbridos se vieron en la necesidad de suplir su sistema visual, extremadamente sofisticado en un contexto diurno, con una ampliación de la capacidad cerebral para dar cabida al desarrollo de los sentidos auditivo y olfativo. Se inició así la marcha que desembocaría en el mayor cociente de encefalización de los mamíferos, nuestros antepasados los primates.

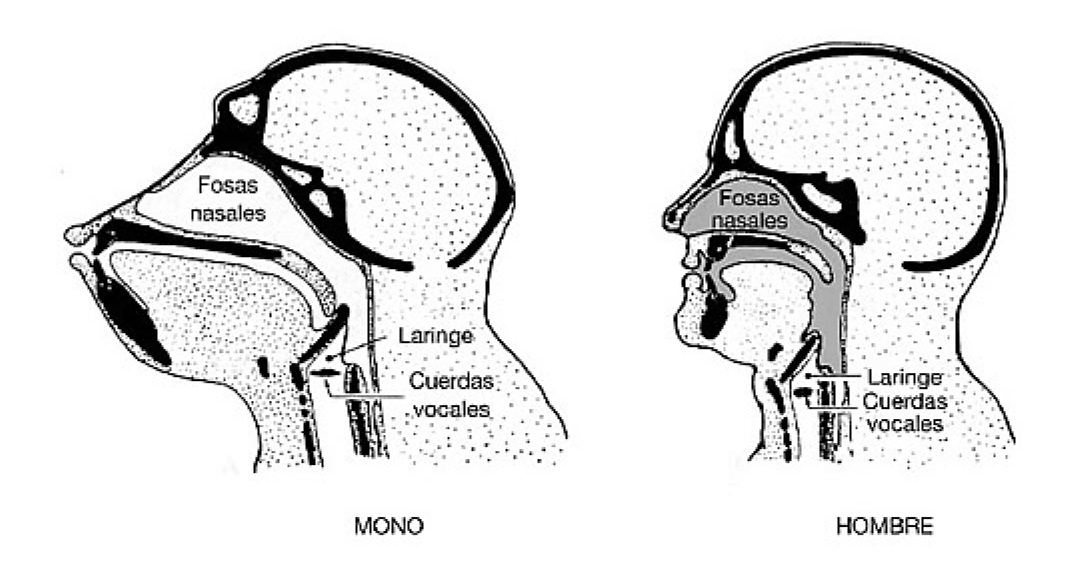
La segunda transformación se ha producido a lo largo de los últimos dos siglos, a raíz de la explosión científica y la revolución de las tecnologías de la información y las telecomunicaciones. El equivalente contemporáneo del segundo cerebro de los reptiles mamíferos son los ordenadores. En los reptiles, la creación del segundo cerebro no comportó la renuncia al cerebro reptil que seguimos conservando. Y, probablemente, ocurrirá lo mismo con la incorporación del cerebro externo que suponen los ordenadores e internet. Adentrémonos, pues, en los orígenes de la mente y el lenguaje.

¿Hablaban, los neandertales? La historia ha sido escrita por los descendientes de los Cromañón y, como pone de manifiesto el paleontólogo más reconocido por la comunidad científica como el mayor conocedor de este período, Phillip V. Tobias, es una historia escrita a gusto de los vencedores.

Ralph Holloway, profesor de antropología física y paleoantropología en la Universidad de Columbia, en Nueva York, y gran estudioso de la evolución del cerebro y el comportamiento de los primates, se unió a la

conversación mantenida en el hall *del Hotel Colón de Barcelona, situado frente a la catedral.*

PHILLIP V. TOBIAS. Tengo la certeza de que los neandertales podían hablar, ya que tenían una cultura muy desarrollada, y quizá necesitaban el lenguaje para comunicarse. La anatomía de su mandíbula era un poco diferente, pero algunos *Homo sapiens* de hoy también tienen la mandíbula como ellos. De todos modos, los neandertales eran muy cultos. Me entristece que hoy día la palabra neandertal sea tan peyorativa. ¿A ti qué te parece, Ralph?



La comparación entre la laringe de un chimpancé y la laringe humana permite comprobar una importante diferencia entre ambas especies: gracias al descenso de la laringe, el homínido es el único animal que puede hablar y morir atragantado.

RALPH HOLLOWAY. Creo que los neandertales hablaban mucho, pero no sé si se expresaban como tú y yo. Me sorprende parte de su anatomía, la base del cráneo, el supuesto descenso de la laringe y su longitud. Es un tema que no me gusta mucho, pero la pregunta me recuerda a un cómic donde un homínido esculpía una piedra con un cincel y un martillo. Era un bloque enorme y extraía pedazos de piedra hasta obtener un piano de pared. Pero entonces se acercaba a las teclas y las tocaba con la cabeza… ¡Era un neandertal! No sé si es una exageración o si los neandertales eran así. De todos modos, nunca se

podrá saber si eran menos inteligentes que los cromañones. No creo que se pueda responder a esta pregunta correctamente hasta que no nos introduzcamos en una máquina del tiempo… Quizá los científicos cuánticos puedan construirla…

EDUARDO PUNSET. Hace una semana nació una nueva nieta mía…

P.T. Felicidades.

E.P. Intenté examinar la laringe de la recién nacida para comprobar si era cierto que la laringe de los bebés está muy arriba, en una posición muy superior, para que puedan respirar y chupar al mismo tiempo. Es una característica humana. Unos meses después la laringe desciende a una posición inferior para que haya sitio para la resonancia, de ahí que los humanos sean el único animal que puede atragantarse. La complejidad de los instrumentos vocales humanos, ¿es una necesidad?, ¿un requisito para el lenguaje?

P.T. A veces digo que los humanos hablamos con el cerebro y no con la lengua, y la diferencia es fundamental. Se habla con el cerebro, y la laringe, la garganta, los labios, la lengua… los órganos de la anatomía del habla son sólo los ejecutores que llevan a cabo la orden del cerebro. Por tanto, hablamos con el cerebro.

E.P. Si es suficientemente grande.

P.T. Ésa es otra pregunta que quizá quieras contestar, Ralph. ¿Fue el tamaño del cerebro lo que nos llevó al habla?

R.H. Lo dudo, yo creo que para desarrollar el habla son más importantes la organización del córtex cerebral y algunas partes del subcórtex del cerebro. Cuando concluí la carrera realicé un estudio sobre una enfermedad conocida como microcefalia, e hice un hallazgo que me impresionó mucho que demuestra lo que te decía. La microcefalia es una enfermedad recesiva que consiste en tener una cabeza muy pequeña. Tiene que haber un doble homocigoto para que se dé esta enfermedad: la cara y el resto del cuerpo crecen con normalidad, pero el cerebro deja de crecer muy pronto, de manera que el enfermo tiene un cerebro muy pequeño, a veces más pequeño que el de los monos. Un gorila grande tiene un cerebro mayor o similar. Sin embargo, hay microcefálicos que son capaces de hablar y ser comprendidos, aunque

mentalmente son profundamente retrasados, pero aun así son capaces de hablar. En antropología existe una teoría que argumenta que son necesarios setecientos cincuenta centímetros cúbicos de materia cerebral para poder desarrollar el lenguaje o ser considerado un ser humano. De esta teoría me impresiona que crea que la naturaleza puede concebir o procesar un cerebro capaz de hablar sin cumplir con los requisitos del tamaño. No quiero decir que podamos considerar a los microcefálicos una especie de estado intermedio en las primeras fases de evolución del hombre, sino que son sólo una prueba de que el cerebro puede estar suficientemente organizado para tener la capacidad del habla aunque no llegue a la medida adecuada.

E.P. Quizá la diferencia no radique tanto en el habla como en la escritura.

P.T. Es una cuestión muy interesante. Se ha discutido durante décadas cuándo surgió el habla, pero nadie que yo conozca ha planteado la cuestión de la escritura, Eduardo. Por medio de las investigaciones arqueológicas se ha encontrado el origen de la escritura y la pre-escritura, porque la escritura como tal no apareció de inmediato, sino que primera surgieron representaciones gráficas y pinturas en cuevas de España, Francia y Sudáfrica.

E.P. ¿Cuándo? ¿Hace diez mil años?

P.T. Probablemente sí, quizás antes. En un emplazamiento arqueológico cerca de Ciudad del Cabo se ha hallado una gran obra de arte que data de hace unos sesenta mil años, y unas pinturas de unas cuevas francesas datan de hace veinticinco mil años. Pero creo que la más antigua es un grabado que se ha descubierto recientemente, de una antigüedad de más de sesenta mil años.

R.H. Y en cuevas de Australia se han encontrado pinturas de hace unos sesenta mil años…

P.T. Éste fue, precisamente, el inicio de la escritura. Poco a poco, como en los jeroglíficos, los rasgos de las pinturas se fueron estilizando.

E.P. Transformándose en símbolos.

P.T. Sí, símbolos comprensibles para la propia comunidad, que originaron la escritura, primero en China, después en Oriente Próximo y luego en el llamado Nuevo Mundo. Y en Sudáfrica una tribu llamada los

Hotentotes o Sand Bush Man grababan de forma estilizada, exactamente igual que los pictogramas egipcios. Mi maestro, el profesor Von Richtlow, solía decir: «Si las poblaciones negras no hubieran llegado a Sudáfrica, serían de raza amarilla». Y los blancos no habrían salido de las cuevas. Es decir que esta gente, de manera independiente, había redescubierto la escritura o estaba a punto.

E.P. A veces resulta grotesco constatar el empeño con que intentamos encontrar el atributo que, supuestamente, nos diferencia del resto de animales. Objetivamente, se desvanecen una tras otra las supuestas diferencias, pero de inmediato se intenta encontrar otra. Primero se esgrimía el uso de herramientas, pero luego han aparecido zapatos fabricados casi enteramente por chimpancés, así que se abandonó la teoría de las herramientas. Luego se utilizó la del lenguaje, hasta que se descubrió que los delfines, en cierto modo, también pueden hablar. Más tarde se recurrió a la capacidad simbólica. Y es cierto que no es corriente que los chimpancés enarbolen una bandera, pero, respecto a la capacidad simbólica, quizá la escritura sea la gran diferencia entre los humanos y los animales.

R.H. Soy partidario de considerar el lenguaje como una actividad cognitiva del cerebro, que comparte ciertas propiedades con otros aspectos cognitivos. Me parece extraordinaria la aparición de herramientas de piedra fabricadas según patrones altamente estandarizados en los restos fósiles. Dichos patrones no pueden justificarse por ningún mecanismo genético, como se puede explicar el modo en que la araña construye su tela y, de hecho, se clasifican las arañas en especies según la tela que tejen. Pero las herramientas de piedra muestran patrones extraordinarios, y es muy difícil imaginar cómo se fabricaron sin un alto grado de cohesión social.

E.P. Este grado de cohesión exigía, quizás, un entramado comunicativo, la capacidad de comunicarse, ¿verdad?

R.H. Sí, exactamente. Quiero decir que era necesario un elevado control social, aunque no en un sentido peyorativo o autoritario. Me refiero a una gran capacidad de compartir experiencias. Es interesante que el cerebro de esa época muestre ya la simetría de los dos hemisferios

cerebrales, que favorece el tipo de operación en sentido de la izquierda a la derecha, e indica la habilidad de la mano derecha. Un arqueólogo llamado Nick Toth examinó las virutas que se desprendían al fabricar las herramientas de piedra, reconstruyó el proceso de fabricación de las herramientas y demostró que se habían realizado con la mano derecha. Por tanto, el comportamiento social es la clave que explica la evolución de estas capacidades.

E.P. La diferenciación cerebral entre los dos hemisferios y, por tanto, la ubicación del lenguaje en uno de ellos y el predominio de la condición de diestros en los homínidos, ¿de cuándo data? ¿De hace dos millones de años?

R.H. Sí, dos millones de años. Hace poco leí un resumen de la investigación de modelos cerebrales que se está realizando por medio de técnicas de resonancia magnética, con hablantes chinos e ingleses. Tienen que llevar a cabo una serie de cuatro pruebas, creo, no recuerdo exactamente cuáles, relacionadas con la captación de la entonación, la sintaxis, la estructura de los verbos y los nombres. Se demostró que los chinos tienen más áreas iluminadas que los ingleses, porque en su lengua se pronuncian más entonaciones. Pero lo más significativo es que los chinos no nacen con este modelo cerebral, sino que con el desarrollo de su lengua ciertas partes del cerebro aumentan de tamaño. Por tanto, la influencia del entorno afecta realmente a la estructura del cerebro, y viceversa. Por otra parte, todos los seres humanos aprenden la lengua de su cultura en el mismo periodo de tiempo. Por tanto, es indiscutible que existe un componente genético en el lenguaje.

E.P. Si un humano incorpora la sintaxis a su lenguaje desde muy niño, ¿un chimpancé puede ordenar las palabras?

P.T. Estoy convencido de que existe una base genética del lenguaje. El hecho de que se adquiera la habilidad lingüística poco después del nacimiento está determinado por el cerebro, que hereda ciertas capacidades, a veces muy específicas. Por ejemplo, en una familia de músicos como la de Bach, la musicalidad puede ser un factor particular de su configuración genética, aunque es muy difícil diferenciar qué está determinado genéticamente y qué es fruto de la influencia del

entorno. Aunque los genes no pueden diferenciar la música de Beethoven de un *buggy-buggy*, pero pueden determinar que seas más sensible a la música. Es intrigante que la musicalidad, el genio matemático o ciertas enfermedades graves abunden en ciertas familias. Y ciertos individuos amalgaman el genio y la esquizofrenia. Dos premios Nobel recientes eran esquizofrénicos. En otros casos, como el hijo de Einstein, un pariente de un genio es esquizofrénico. Es una reflexión muy interesante que se está realizando desde una perspectiva evolucionista. ¿Puede ser que el gen de la esquizofrenia —que data de hace ciento cincuenta mil años o más— se haya manifestado en productos indirectos como la musicalidad, el genio, el liderazgo y la religiosidad, más que en el comportamiento psicótico? La religiosidad desempeñó un papel muy importante en los primeros tiempos de la evolución de la cultura…

R.H. En otras palabras, ¡la especie humana estaba perturbada y por eso fue seleccionada!

E.P. Si se pregunta a científicos que investigan la evolución del cerebro, como vosotros, para qué demonios sirve, no siempre estáis de acuerdo en la respuesta. Un colega vuestro, el fisiólogo de Nueva York Rodolfo Llinás, dice que el cerebro aparece sólo si se necesita. Por ejemplo, las plantas no necesitan cerebro porque éste sirve, en esencia, para encontrar la dirección y avanzarse a ciertos acontecimientos.

P.T. No estoy nada de acuerdo con esta afirmación, porque es pura teleología o un viejo argumento lamarquiano: las plantas no necesitan cerebro y no tienen, los mamíferos necesitamos cerebro y tenemos. Me temo que Ralph y yo no podemos aceptar este argumento.

E.P. Los humanos, ¿somos más inteligentes que otros animales porque adquirimos la capacidad de lenguaje o adquirimos dicha capacidad porque somos más inteligentes?

R.H. No lo sé. No creo que la cuestión sea ésta… Creo que no se puede plantear así.

E.P. Me refiero a si adquirimos el lenguaje a causa de nuestra inteligencia o porque ya tenemos capacidad de lenguaje. ¿O quizá, como habéis sugerido, la organización y los genes nos permiten alcanzar el lenguaje

que, a su vez, hace que seamos más inteligentes que los otros animales?

R.H. El lenguaje contribuyó mucho a mejorar el comportamiento y la interacción social. Es extraordinario, porque se basa en un código arbitrario, es decir que no tiene por qué existir relación alguna entre las palabras y la realidad, de forma que la imaginación puede inventar la realidad a su antojo y decir lo que quiera, aunque no sea verosímil. Se puede decir «el hipopótamo amarillo llegó y miró a la jirafa de rayas azules, pero como no podía soportarla le pegó una patada en la cola». La imaginación forma parte del intelecto humano, pero puede llevar al pecado, ya que la inventiva crea grandes proyectos, como las religiones…

E.P. Es un tema muy interesante, porque la invención juega con la ambigüedad característica del lenguaje. Un dicho popular castellano dice «hablando la gente se entiende», pero la experiencia demuestra que, a veces, el lenguaje confunde, porque es vago e interpretable. ¿Qué os parece?

P.T. Existen muchas diferencias entre la comunicación humana moderna y la comunicación animal, pero es indiscutible que sin el lenguaje —especialmente el hablado, aunque se cree que el lenguaje por signos apareció antes, y el lenguaje musical— es inconcebible el sentido del futuro. No conozco a ningún chimpancé que tenga sentido del futuro más allá del futuro inmediato, de la satisfacción de las necesidades biológicas, como el hambre, el sexo, el peligro, la fatiga, el sueño… En contraste, los humanos pueden planificar, si quieren, su futuro, incluido un futuro muy lejano, o la predicción meteorológica. El lenguaje permite hacer pronósticos y predicciones. Y el modo subjuntivo del lenguaje, inexistente en la comunicación de los chimpancés, los gorilas o los orangutanes, es muy significativo. Como ha dicho Chomsky tantas veces, no podemos utilizar el lenguaje si desconocemos la gramática, porque es muy diferente decir «yo te mato» que «tú me matas». Son las mismas palabras, pero el significado es opuesto. Y «yo y tú matamos» implica un tercer significado, pero las palabras son las mismas.

E.P. Es como el código genético, ¿verdad?

P.T. Exacto, combinaciones y permutaciones: «yo», «tú», «matar» o «¿matar?» son muy diferentes entre sí, aunque las palabras se parezcan. El lenguaje humano moderno no sería el mismo sin sintaxis ni gramática. Hay gente que considera que Noam Chomsky ha ido demasiado lejos argumentando que la sintaxis y la gramática son las bases fundamentales del lenguaje, pero sin la sintaxis y la gramática el lenguaje humano no se diferenciaría del de los chimpancés que gritan, repitiendo sonidos. Puede que cada sonido signifique una cosa diferente —«uh, uh, uh»: amor, sexo o amistad; «ji, ji, ji»: enfado, miedo o se acerca un hombre con rifle—, pero no pueden expresar nada en futuro ni en subjuntivo, ni ideas más complejas. Creo que las variaciones en el comportamiento del hombre moderno aparecieron a raíz del lenguaje.

E.P. ¿Se sabe cuál fue la primera palabra emitida por un primate antecesor de los humanos?

R.H. Quizá silbó: «¡fiu, fiu!».

P.T. O quizá dijo sólo «¡mamá!».

R.H. El sexo y la alimentación son los aspectos básicos de la vida.

E.P. Y la seguridad.

R.H. Sólo después del sexo, la seguridad.

E.P. Se dice que los sonidos que emiten los bebés reflejan el lenguaje primordial, ¿es cierto?

R.H. Es el viejo argumento de la reproducción filogenética, pero yo no lo creo.

E.P. No perdamos el hilo. Profesor Tobias, ¿los humanos somos los únicos animales que imaginamos el futuro? Una vez entrevisté a un científico de Estados Unidos que investiga cómo desplazar la órbita de la Tierra dentro de quinientos millones de años, cuando el planeta sea demasiado caliente. ¿Crees que es una exageración por su parte, aunque la capacidad de pensar en el futuro sea característica de la condición humana?

R.H. Creo que sí.

E.P. ¿De verdad?

P.T. Añadiré un *caveat*: no consideremos que ya se ha investigado cómo hablan y qué se dicen las ballenas, los delfines y otros grandes cetáceos mamíferos marinos. Los científicos están estudiando las vibraciones y los patrones y creo que pueden desvelarse sorpresas. Es posible que el repertorio cognitivo inherente a su lenguaje trascienda lo estrictamente inmediato.

E.P. Entonces la humanidad tendría que pensar otra vez qué diferencia a los humanos de los animales.

P.T. ¿Por qué habría que creer que los humanos somos únicos? Ha sido como la búsqueda de El Dorado. Me recuerda mucho a las discusiones que abundaron en Inglaterra en 1860, un año después de la publicación del libro de Charles Darwin *El origen de las especies*. Un conocido anatomista comparativo inglés del siglo XIX, sir Richard Owen, diseccionaba muchos cadáveres, pero rechazaba ciertas ideas de Darwin, que eran anatema para él. Owen dijo: «Es imposible que procedamos de los monos porque nuestro cerebro es único». Le preguntaron: «¿En qué son únicos, sir Richard?». Y él respondió: «Poseen algo llamado hipocampo menor, una pequeña entidad al lado del gran hipocampo o hipocampo mayor; y ningún chimpancé, gorila u orangután tiene hipocampo menor». Entonces apareció Thomas Henry Huxley, que había empezado a disecar cerebros de chimpancés, gorilas y orangutanes, y dijo de manera bastante brusca y poco cortés: «Mira, aquí está el hipocampo menor de los monos». Así se desvaneció la supuesta singularidad del cerebro humano, y la vida de sir Richard Owen empezó a declinar.

E.P. Por culpa del hipocampo.

P.T. A causa del impacto que le produjo descubrir que el hipocampo menor no es único, y por consiguiente el cerebro humano tampoco. Para Owen fue una revelación terrible, inaceptable.

E.P. Ralph, ¿entonces dónde radica la condición humana, si existe? Ya sé que está en proceso de transformación continuamente…

R.H. Cambia siempre. Si se observa de cerca un cerebro, se constata que cada cerebro es único, como cada animal, porque la selección natural ha agrupado diferentes conjuntos de rasgos únicos. Nuestro cerebro es

único porque presenta una combinación única: un gran tamaño, cierto conjunto de fibras en las áreas intermedias y cierta reorganización de partes que se encuentran en el cerebro de todos los animales. El cerebro humano no posee características diferenciales nuevas, como descubrió el pobre Richard Owen. La singularidad del cerebro y del comportamiento del animal humano es que puede imponer una forma arbitraria en su entorno, y eso no lo puede hacer ningún otro animal. Lo aprendí poco a poco de niño. Nací en 1935, y de 1939 hasta 1945 conocí años de horror, a causa de la ascensión y la caída del Tercer Reich. Me impresionó sobremanera que los seres humanos fueran capaces de adoptar símbolos arbitrarios y constituir entornos que cambiaron de una manera tan radical los grupos genéticos y la frecuencia de los genes en el mundo: sólo el animal humano puede hacerlo, ningún otro animal puede. Aunque una ballena o un chimpancé desarrollen un concepto de futuro, no podemos temer nada…

E.P. Pero ellos sí de nosotros.

R.H. A causa de nosotros.

E.P. Habéis estudiado el cerebro y su origen, que data de hace dos millones de años. ¿Creéis que el cerebro, como instrumento, puede guiar a los homínidos hacia algo mejor?

R.H. Personalmente, soy pesimista. Mi punto de vista sobre la cuestión es el siguiente: si se examinan los datos geológicos de la evolución de casi todos los mamíferos y otros animales, se observa que existe una capacidad de cohesión hacia un modelo morfológico que llamamos género. Somos *homo*, no primates, aunque descendamos de ellos. Y esta condición data de hace unos seis millones de años. Si observamos cualquier otro animal, sus datos paleontológicos se extienden aproximadamente de cinco a diez millones de años. Los grandes felinos y los equinos, más allá de diez millones de años. Los humanos, como género, sólo existimos desde hace seis millones de años. Alcanzar el éxito evolutivo, pervivir en el futuro, nos llevaría casi

otros tres millones de años, sólo para lograr lo que casi todas las especies de mamíferos ya tienen. Me pregunto si se puede pensar en otros tres millones de años como éstos.

P.T. Yo soy optimista.

E.P. ¿Y tú crees que podemos perdurar otros tres millones de años de forma relajada?

P.T. No sin esfuerzos. Hemos desarrollado un mecanismo maravilloso, el cerebro, pero no siempre sabemos usarlo de la forma más eficaz, y ése es uno de los grandes problemas, presente ya en el sistema educativo actual. Hay que enseñar a los jóvenes a «usar la cabeza», como decía siempre mi viejo profesor, en plural: *brains*. Quizás el gran reto del futuro sea desarrollar la habilidad de obtener el máximo rendimiento de lo que nos ha otorgado el proceso evolutivo.

El instinto del lenguaje

Steve Pinker

«Los niños no se limitan a repetir las palabras, sino que adivinan las reglas del lenguaje ellos mismos.»

Frente a las tesis de Tobias y Holloway, ¿cómo responder a psicolingüistas como Steve Pinker, que argumentan que la capacidad del lenguaje es genética y que nuestra forma de ordenar las palabras, la sintaxis, se adquiere genéticamente? De hecho, cuando observo a mis nietas me parece increíble que puedan aprender tanto en tan poco tiempo. Si le pido a mi nieta de cuatro años que resuelva un problema matemático muy sencillo, no quiere, porque no le gusta ni le interesa. Pero si conversamos, me sorprende la corrección con que se expresa en dos lenguas. ¿Este dominio podría darse sin herencia genética? No creo que un aprendizaje tan complejo como el del lenguaje pueda ser fruto sólo de factores ambientales.

Recuerdo una conversación con Steve Pinker, mantenida años atrás en Munich, y organizada por John Brokman, uno de los grandes editores científicos norteamericanos, cuyo Web Edge Fund recomiendo a los lectores, como fuente incesante de curiosidades presentadas por los científicos cuyas obras publica John. Fue uno de los espectáculos más divertidos y luminosos de mi vida. Un millar de jóvenes acudieron a un local nocturno parecido a una discoteca para escuchar en directo a científicos como Pinker, Dawkins, Dennett y Diamond. Uno a uno expusieron sus teorías bajo los focos, como si fueran famosos del espectáculo que seducen con sus declaraciones al público joven que abarrotaba el local. Pensé —y se lo dije a más de un presidente del CSIC y de la Generalitat de Catalunya— que España debería organizar una velada parecida. Entretanto, Steve Pinker ha profundizado en la naturaleza digital del lenguaje y, a mi juicio, es un gran candidato al premio Nobel si el rigor

académico y la capacidad de comunicar ideas complejas a grandes audiencias no fueran incompatibles a ojos de la fundación que otorga los Nobel.

STEVE PINKER. Mi expresión lenguaje-instinto proviene de Darwin, que definió el lenguaje como un instinto para adquirir el arte del lenguaje. No es un instinto fijo de mucho animales, sino un instinto que tienen los niños para analizar lo que dicen sus padres y crear su propio sistema de normas para poder comprender infinidad de frases en la lengua de su comunidad.

EDUARDO PUNSET. La capacidad para manipular este instinto, ¿está relacionada con la genética?

S.P. Creo que sí, creo que el lenguaje tiene más base genética en los humanos que en otros primates, y eso nos diferencia. La base genética permite a los niños adquirir el lenguaje muy deprisa, a una edad en las que no están capacitados para hacer casi nada. De todos modos, aprender el lenguaje es un problema más complejo que aprender cálculo, álgebra o jugar al ajedrez. Con todo, los niños lo consiguen sin entrenamiento, sin ir a clase, sin practicar, sólo porque son humanos y escuchan a los demás.

E.P. Sostienes que no se aprendería el lenguaje tan deprisa sin la existencia de información genética que nos permite manipular este instinto.

S.P. Así es. Y, por supuesto, la información genética no está determinada para ninguna lengua en particular. No existe información genética específica para el inglés, el español, el suahili o el japonés. Creo que los genes preparan el cerebro para que escuche conversaciones e identifique nombres, verbos, sujetos, objetos, normas, tiempos, complementos… Se trata de que el niño aprenda las normas del lenguaje pero sin memorizar frases enteras como un loro.

E.P. Y, sin embargo, a veces tratamos a los niños como si fueran loros e intentamos que memoricen ciertas frases, ¿verdad?

S.P. Es cierto. Desde muy pequeños los niños emiten nuevas palabras y combinaciones de palabras que demuestran que su mente funciona muy activamente. No se limitan a repetir frases, sino que adivinan las

reglas. En inglés, muchos niños cometen el error de usar el sufijo regular para la forma del pasado y aplicarlo a los verbos irregulares. Y en castellano ocurre lo mismo, porque es una lengua con muchos verbos irregulares. Los niños utilizan la conjugación regular en muchos verbos irregulares. Eso demuestra que no sólo memorizan los giros concretos que han oído, sino que espontáneamente aplican las reglas que han intuido.

E.P. Aprenden las reglas del juego del lenguaje.

S.P. Exactamente. Aplican las reglas para formar palabras y agrupar palabras en frases.

E.P. ¿Y el resto de animales? En parte, los animales tienen este instinto, pero muchos antropólogos y biólogos sostienen que no existen diferencias entre los animales que tienen este instinto y los que no. ¿Es así?

S.P. Muchos animales se comunican y ciertos sistemas de comunicación son muy complejos. Por ejemplo, el lenguaje de las abejas es una danza, que indica la distancia y la dirección en que se encuentra el alimento. Los monos emiten muchos avisos diferentes que indican distintas intenciones o emociones. Pero el lenguaje humano es muy diferente de los sistemas de comunicación de otros animales. En primer lugar, es muy difícil encontrar señales animales que se refieran a algo. Los sistemas de comunicación animal, generalmente, se relacionan con los estados emocionales o con ciertas intenciones. Referirse a algo sin expresar ninguna intención es inconcebible en los sistemas de comunicación animal. Otro rasgo particular del lenguaje humano es la gramática, y no me refiero sólo a las normas que aprendemos en la escuela, sino al algoritmo que ordena las palabras en frases de manera que el significado de la frase pueda ser procesado en función de las palabras individualizadas y cómo están unidas entre ellas. En otros sistemas de comunicación animal impera la repetición.

E.P. Pero sin orden.

S.P. Son combinaciones y un orden sin significado.

E.P. ¿Es porque nosotros somos digitales?

S.P. En parte sí, se debe a que somos digitales. El pensamiento humano es muy digital y nuestro lenguaje refleja nuestros pensamientos. Si quiero referirme a un animal medio gato medio pato, no puedo realizar un sonido intermedio entre «g» y «p». El lenguaje humano es abstracto, digital… Si digo que alguien es joven o viejo, divido digitalmente la edad en dos categorías, aunque en realidad no existe una frontera entre la juventud y la vejez. La división de la continuidad en dos categorías es propia del lenguaje humano: grande y pequeño, sabio e ignorante… El lenguaje digitaliza la realidad.

E.P. Y, en cambio, a veces las interacciones sociales son perjudicadas por el lenguaje, ¿verdad? Un colega tuyo, Daniel Goleman, decía que seguimos reaccionando con las mismas emociones —casi rugidos— con los que reaccionábamos hace diez o veinte mil años. Era un lenguaje adaptado a esas situaciones primitivas, pero que ya no está adaptado a la sociedad actual.

S.P. Es completamente cierto. El lenguaje sirve para expresar ciertos significados, pero no todos. Al ser el lenguaje digital, no sirve para expresar mensajes analógicos, prácticos, parecidos a cómo construir algo o cómo atarse los cordones de los zapatos. Si quisiéramos explicarle a alguien por teléfono con todo detalle cómo atarse los cordones de los zapatos, no lo lograríamos, porque requiere movimientos musculares de una precisión de fracciones de milímetro y el lenguaje sólo nos permite expresar categorías digitales como grande, pequeño, izquierda, derecha, arriba, abajo… Además, el lenguaje es demasiado etéreo para expresar emociones, de ahí la necesidad del arte, la música, el teatro y la literatura. Otra dificultad que conlleva el lenguaje es que es demasiado fácil mentir, de forma que el oyente tiene que adivinar si su interlocutor es sincero…

E.P. O miente.

S.P. Por eso la gente no sólo escucha las palabras, sino que también observa la expresión del rostro, los gestos, las reacciones corporales… Tartamudear o ruborizarse es tan significativo como las palabras que se pronuncian. Existe, por tanto, un segundo canal de comunicación que expresa sentimientos que el lenguaje no puede transmitir.

E.P. Si el lenguaje es digital, ¿el cerebro también es digital? Tal vez por esto los organizadores de este acto lo han llamado *El planeta digital*.

S.P. Yo no creo que el cerebro sea en conjunto digital. Ciertos niveles cognitivos superiores de razonamiento son digitales, pero gran parte del funcionamiento del cerebro es analógico, como la percepción. Por ejemplo, puedo percibir miles de gradientes y de luminosidad, y variaciones casi infinitas de las formas. Y gran parte de la intuición y del sentido común tampoco son digitales. Puede ser que no confíe en una persona, pero no tengo por qué desconfiar absolutamente o confiar plenamente en ella; la confianza es analógica.

E.P. No es una cuestión de ceros y unos como ocurre con los ordenadores.

S.P. Creo que gran parte de la inteligencia animal es analógica mientras que el pensamiento humano se caracteriza por ser tan digital, tan proposicional, tan lógico que se diferencia de los sistemas de pensamiento analógico que hemos heredado de los demás animales. Sin embargo, no todo el pensamiento humano es digital. Me parece muy interesante que existan distintos niveles de organización en los que la información digital sea la fuerza aglutinadora. Piensa en el ADN, una estructura muy conocida formada por sólo cuatro bases. Todas las formas vivas se fundamentan en el orden en que están asociadas estas bases: es un sistema de información digital. El lenguaje también es un sistema digital de información, como los pensamientos expresados verbalmente. Me parece extremadamente interesante que los dos conceptos más complicados, abiertos y creativos del Universo, el lenguaje y el razonamiento, por una parte, y la vida, por otra, cuenten con infinitas variaciones muy intrincadas y complejas que dependen de información digital. El psicólogo experimental Steven Pinker impartiendo una clase.

El segundo cerebro humano

Harry Jerison

«¿Qué sucedería si fueras reptil y tuvieras, de pronto, que vivir en la oscuridad?»

A estas alturas de la reflexión, el debate está centrado en lo que realmente importa. Gran parte del mundo académico ha intentado desbrozar el origen del lenguaje a partir de las características fisiológicas necesarias para que el lenguaje se desarrolle y pueda resonar correctamente. En ocasiones, el debate ha trascendido la fisiología y se ha adentrado en la neurociencia y la genética. En el primer caso se trataba de dilucidar si el lenguaje estaba ubicado en un espacio determinado del hemisferio cerebral izquierdo o, paralelamente, en los ganglios basales subcorticales conocidos, más llanamente, como el cerebro heredado de los reptiles. El consenso en torno al concepto de cerebro como órgano integrado parece apuntar hacia esa perspectiva. El otro debate —tan académico y redundante como el de nature versus nurture *(naturaleza contra entorno) como determinantes de la conducta individual— se centró en la naturaleza instintiva o aprendida, en la provisión de capacidades genéticas destinadas a facilitar el aprendizaje del lenguaje como único camino para explicar la asimilación prodigiosamente rápida —en dos o tres años— de una habilidad tan compleja como el lenguaje. Son debates interesantes, pero creo que es necesario dar un paso atrás en la evolución para entender el origen del lenguaje. La realidad que muchos especialistas no han intuido es sencillamente que el lenguaje requiere un órgano mayor y más sofisticado que el cerebro heredado de los reptiles. Se trata de centrarse en el verdadero meollo de la cuestión, de forma parecida al arrebato del premio Nobel J. Michael Bishop, que reclamaba a los especialistas en la lucha*

contra el cáncer que se centraran en la célula. Es una de las virtudes de la contribución original y decisiva del profesor Harry Jerison, de la Universidad UCLA de Los Ángeles, en Estados Unidos.

EDUARDO PUNSET. Te contaré una cosa curiosa que me explicó un científico amigo tuyo. Existe una relación inversa entre la cantidad de esperma que genera un varón y el nivel de testosterona, de forma que si se tiene mucho esperma se tiene un nivel de testosterona bajo, y entonces el crecimiento del bebé es más lento y necesita más tiempo para que le crezca cerebro. Es sólo un pretexto muy complicado para formularte una pregunta: ¿por qué el cerebro crece y sigue creciendo?

HARRY JERISON. Creo que el crecimiento del cerebro no está particularmente relacionado ni con el sexo ni con la testosterona. Probablemente, se debe, en parte, al hecho de que somos primates, pero primates que viven de forma muy extraña. Por tanto, nuestros modelos de crecimiento dependen primero de nuestra condición de primates y, segundo, de nuestra forma de vida poco corriente.

E.P. Entonces, ¿por qué el cerebro de los primates es más grande que el de otros mamíferos?

H.J. No existe respuesta a esto, pero el cerebro de los primates siempre ha sido más grande; hace cincuenta millones de años ya era así. Los primates siempre han sido los mamíferos con el cerebro mayor, desde que sabemos que estos animales en particular eran primates. He dicho cincuenta millones de años, pero podría haber dicho cincuenta y cinco millones. Si dijera sesenta millones de años, surgiría el debate de inmediato. Pero el cerebro de los primates siempre ha sido grande, aunque requiere mucho tiempo de crecimiento. Y en un animal tan grande como el ser humano todavía necesita más tiempo para desarrollarse, porque el tamaño del cerebro de un recién nacido es sólo un tercio del tamaño del cerebro de un adulto.

E.P. Pero crece muy deprisa, ¿verdad?

H.J. Sí, desde una perspectiva humana, pero no desde una perspectiva animal. A los tres, cuatro o cinco años, el cerebro humano ya casi ha alcanzado su tamaño completo, es decir que ha triplicado su tamaño.

Nacemos con un cerebro de trescientos cincuenta gramos y a los cinco años ya pesa un kilo o más.

E.P. Así que entre los dos y los cinco años, el cerebro humano ya casi ha completado su crecimiento.

H.J. Está casi todo hecho, pero falta otra cosa todavía peor. Para concluir el desarrollo del cerebro, no todas las neuronas pueden sobrevivir. Al nacer se tiene un potencial para muchas más neuronas que cuando se tienen cinco años, edad en que muchas neuronas mueren para que el cerebro pueda tener un funcionamiento normal. Es un fenómeno muy peculiar, relacionado con el hecho de que las neuronas deben tener espacio para que la arborización o ramificación axodendrítica pueda extenderse.

E.P. Harry, eres especialmente conocido entre la comunidad científica como el inventor de una ecuación de encefalización, una fórmula aparentemente complicada que intenta medir con un sólo número la relación entre el tamaño del cerebro y del cuerpo. En los humanos, la relación es de 7,4, más de siete veces mayor que la media.

H.J. El cerebro humano es mucho mayor que el de otros animales del mismo tamaño. El tamaño del lobo se parece al nuestro, pesa entre sesenta y setenta kilos. Pero el cerebro de lobo pesa unos ciento cincuenta gramos, mientras que el cerebro humano es diez veces mayor. La ecuación de encefalización indica simplemente si un cerebro es mayor o menor que uno normal. Las cifras de la ecuación se refieren a la media, al tamaño que correspondería a la medida del cuerpo.

E.P. ¿Y es significativo el resultado de la ecuación del cerebro humano? Quiero decir, ¿para qué necesitamos un cerebro tan grande?

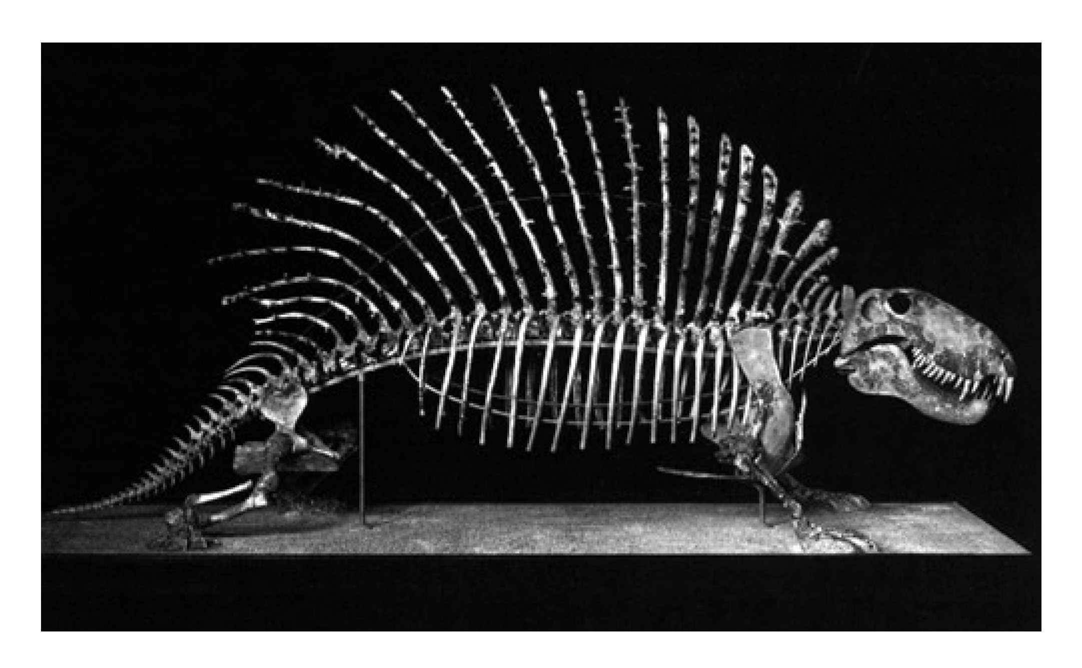
H.J. De hecho, existe una teoría que argumenta que la esquizofrenia es fruto del excesivo desarrollo del cerebro. Es muy difícil responder a tu pregunta, pero creo que necesitamos un cerebro tan grande para mantener esta conversación. Con un cerebro de tamaño normal, como correspondería a un mamífero de nuestra medida, no podríamos conversar. Un lobo no puede hablar con otro, se comunican entre sí,

con el olor que desprenden al orinar o marcar el territorio, pero su lenguaje se reduce a eso. Es necesario un cerebro mayor para hablar de forma cognitiva, como nosotros, con ideas e imágenes.

E.P. ¿Cuándo crees que nuestros antecesores necesitaron un cerebro mayor? Porque los humanos descendemos de los reptiles, ¿verdad?

H.J. Sí.

E.P. Los reptiles nunca necesitaron un cerebro mayor, pero ¿y sus sucesores? ¿A raíz de qué surgió esa necesidad? Porque entonces no habían desarrollado el lenguaje…



Entre los enormes reptiles synapsid que dominaron la tierra hace más de 250 millones de años estaban los antecesores de los mamíferos. El paso del reptil al mamífero implicó un aumento considerable del cerebro.

H.J. La necesidad del cerebro fue anterior al lenguaje. Esto nos ayuda a comprender qué sucedió con la aparición de los primeros mamíferos hace un poco más de doscientos millones de años, que es mucho tiempo. La cuestión es por qué apareció un nuevo grupo de animales. La respuesta es que en el medio ambiente de entonces había espacio libre para ellos. En el mundo de los animales que vivían hace doscientos millones de años existía una especie de franja vacía en la que podía encajar una clase de reptiles, que podían crecer y adaptarse a ese espacio. De ahí que su cerebro sea tan grande.

E.P. Pero, Harry, aquellos reptiles tenían un sistema de visión muy bueno.

H.J. Todos los reptiles, es una de sus características.

E.P. Entonces, ¿por qué necesitaban un cerebro mayor si estaban bien preparados?

H.J. Estás formulando las grandes preguntas.

E.P. Son las preguntas que interesan a la gente de la calle.

H.J. Parte de la respuesta está en tu pregunta. Has dicho que los reptiles son capaces de ver; de hecho, los expertos en visión afirman que los reptiles tienen la visión más aguda, en la percepción del color, que cualquier otra criatura. Sus retinas tienen una gran riqueza de células nerviosas, de forma que sus ojos son instrumentos maravillosos. Y esa es la respuesta: ¿qué sucedería si no tuvieras esa visión? ¿Si tuvieras que vivir en la oscuridad y utilizar otros sentidos? Ésta es la respuesta. Cuando aparecieron los primeros mamíferos ya había reptiles, o un tipo de animales —ya que existe cierta controversia— que se podrían llamar reptiles. Y esos reptiles eran nocturnos o vivían en el periodo de media luz, en el crepúsculo. Tenían la vista muy desarrollada, pero no la necesitaban y, a veces, cuando no se necesita un sentido se deteriora. Los reptiles no perdieron el sentido de la vista, pero tuvieron que desarrollar otro sentido con la misma función que la vista. La vista traza una cartografía del mundo: ¿dónde está esto?, ¿dónde está lo otro?, ¿qué hay aquí?, ¿es peligroso?, ¿es seguro?, ¿necesito huir?... Necesitaban la misma información pero de otra manera, como el olfato y el oído. El modelo del oído es muy importante, y existen modelos muy buenos entre los animales vivos, como los murciélagos, que se guían por la localización de eco en lugar de la vista. No ven pero emiten unas señales de sonido que devuelven el eco, y se ha demostrado que pueden reconstruir el mundo con tanto detalle como nosotros con la vista. Mi idea sobre qué sucedió cuando los primeros reptiles antecesores de los mamíferos evolucionaron a mamíferos, hace doscientos millones de años o más, es que, además del sentido de la vista característico de los reptiles, desarrollaron un sentido olfativo muy bueno y un sistema auditivo excelente, como demuestran los restos de los pequeños huesos del oído. La forma del cráneo también

se transformó, ya que en los reptiles los huesos eran parte de la mandíbula y en los mamíferos los huesos del cráneo se convirtieron en huesos del oído.

E.P. Porque para sustituir la visión por el olfato, el tacto y el oído era necesario un cerebro mayor.

H.J. Exacto. El sistema de la vista, que es un sistema enorme, ocupaba gran parte del cerebro del reptil, de manera que era necesario otro cerebro, digámoslo así, con la misma capacidad de gestionar información que el primero, pero dirigida al oído y el olfato. La vista no se perdió del todo, tenían visión nocturna, aunque la de los reptiles de hoy no es muy buena. De hecho, nuestros ojos, quiero decir nuestros ojos de mamífero, no nuestros ojos humanos, tienen dos sistemas de células, uno para la recepción nocturna y otro para la diurna. Y la mayoría de reptiles vivos sólo tienen el sistema diurno.

E.P. Es decir que hace doscientos millones de años, nuestros primeros antecesores —esta especie de reptiles mamíferos— sólo podían vivir de noche y comenzaron a desarrollar el olfato y otros sentidos tanto como la vista, de forma que el cerebro tuvo que continuar creciendo. Pero quisiera hacerte otra pregunta que me intriga mucho: partiendo de lo que has dicho sobre los antecesores de los humanos, ¿por qué los delfines tienen una ecuación de encefalización parecida a la nuestra?

H.J. Idéntica a la humana.

E.P. Dos preguntas, entonces. ¿Por qué? y ¿los delfines evolucionarán como los humanos?

H.J. No lo sé. Me encantaría poder responderte, pero sólo puedo decir que los delfines son los únicos animales que pueden utilizar el sentido auditivo como los humanos. De hecho, los delfines pueden imitar el sonido de un instrumento electrónico muy sofisticado. Si creas una onda artificial que produzca un sonido, por ejemplo de unos doscientos cuarenta ciclos por segundo, como el do de referencia, o de cuatrocientos cuarenta, como el fa de referencia, puedes entrenar a un delfín para que mimetice y copie los sonidos. Y, sin embargo, nosotros no podemos hacer nada semejante. Preguntarse por qué los delfines tienen un cerebro tan grande es muy interesante. Según la evolución

del cerebro, los cetáceos como los delfines, las ballenas con o sin dientes —los cachalotes, la ballena asesina, la orca o la ballenas con joroba, con sus famosas canciones…—, estos animales evolucionaron de un grupo de animales terrestres hace menos tiempo de lo que la mayoría de gente cree, hace tan sólo unos cuarenta y cinco o cincuenta millones de años. Pero sus antecesores, según he podido establecer analizando huesos del cráneo, ya tenían un cerebro mayor que los demás animales, con la excepción de los primates, que siempre han sido los número uno.

E.P. Has estudiado la evolución del cerebro humano centrándote, sobre todo, en las supuestas ventajas de un cerebro grande respecto al peso del cuerpo, pero ¿qué desventajas supone? Quiero hacerte una pregunta que no suele aparecer en los libros de ciencia. Unos amigos míos neurólogos dicen que la depresión es una enfermedad mental que sólo sufren las personas con capacidad de pensar sobre sí mismos, en el pasado y el futuro. En otras palabras, sólo los humanos se pueden deprimir porque tienen un gran cerebro, un cerebro excesivo, quizá.

H.J. Es cierto, aunque sólo en teoría. Se ha argumentado que el origen de la esquizofrenia está en la evolución del cerebro hasta un gran tamaño. Pero creo que la cuestión principal está en la evolución del lenguaje, en el hecho de que nuestro cerebro tiene un crecimiento comparable al de hace doscientos millones de años, como el del paso de los reptiles a los mamíferos, cuando surgió la necesidad del olfato y el oído en la misma medida que la vista. En la evolución humana, en realidad, desde el *australopitecus* en adelante, se necesitaba una información que proporcionara una imagen mejor del mundo, una cartografía más perfecta, y, en particular, un mapa que pudiera contener varios kilómetros cuadrados, en lugar de pocos metros cuadrados. Yo sostengo que esto originó el gran crecimiento del cerebro humano. El papel del lenguaje en la evolución fue, principalmente, poder conocer mejor el mundo. Desgraciadamente, conocer el mundo mejor se tradujo en un mayor conocimiento de nosotros mismos. Si te conoces a ti mismo, puede que no te gustes. Por tanto, creo que la esquizofrenia,

la depresión y los desórdenes bipolares podrían nacer del conocimiento de uno mismo. La conciencia de la muerte, por ejemplo, no la posee ningún otro animal.

Lenguaje musical y humano

Diana Deutsch

«La percepción musical depende del habla adquirida en la niñez.»

Puede que la conciencia de la muerte sea patrimonio de los humanos. Pero volviendo al lenguaje, y tras escuchar el canto de un ruiseñor o el silbido de las ballenas, surge la pregunta de si la música es un lenguaje. Es indiscutible que la música y el lenguaje se asemejan. Es un consenso laborioso de la comunidad científica. La música es una prolongación del lenguaje o, por lo menos, nace de las limitaciones de la capacidad de hablar a las que se refería Pinker páginas atrás. Siendo el lenguaje una capacidad digital del cerebro, tarde o temprano los homínidos recurrieron a la música y al arte para expresar matices que difícilmente cabían en la lógica digital de ceros y unos.

Cuesta creer que el origen de la música date de un paseo de Pitágoras por la polis. Cuenta la leyenda que, hace más de dos mil años, el filósofo griego caminaba por una calle de Atenas y oyó un sonido procedente del taller de un herrero que le sedujo. Se preguntó a sí mismo por qué le fascinaba tanto ese sonido, y entró en el taller. Aunque dos mil cuatrocientos años después creemos saber por qué un sonido es placentero, Diana Deutsch cuestionó mi certeza cuando le formulé esta pregunta en San Diego, en California. Diana Deutsch es la primera autoridad mundial en física y fisiología de la música. Licenciada en psicología, filosofía y fisiología por la Universidad de Oxford y doctora en psicología por la Universidad de California, dirige diferentes investigaciones en torno a la percepción y la memoria de sonidos, en particular de la música, y ha descubierto un gran número de ilusiones y paradojas musicales.

DIANA DEUTSCH. Pitágoras llegó a la conclusión de que los sonidos placenteros son aquellos cuyos componentes están relacionados por longitudes de cuerda que tienen una proporción numérica muy simple, como dos por uno. Desde entonces, la gente se pregunta por qué los llamados sonidos consonantes nos gustan más que los sonidos disonantes, de proporciones más complejas. Y a decir verdad todavía no se entiende del todo, pero mientras tanto hemos descubierto otras cosas interesantes sobre la percepción de la música.

EDUARDO PUNSET. Quisiera formularte una pregunta relacionada con esto, con la célebre serie de Fibonacci, que tanto conoces: uno, uno, dos, tres, cinco, ocho, etc., que llevó a la proporción áurea. En estas series existe una proporción de cero a seis que se puede aplicar tanto a la arquitectura como a la música. Se dice que Beethoven y Béla Bartok utilizaron la proporción áurea. ¿Por qué estas proporciones son tan fascinantes? ¿Es un milagro o es una cuestión genética?

D.D. Una vez más, es un misterio, no se sabe. El porqué de la percepción de la música y de todas las artes sigue siendo un misterio. Mucha gente cree poder juzgar la estética, pero se desconocen, científicamente, los fundamentos.

E.P. Diana, en un ensayo tuyo leí una cosa que me pareció fantástica. Corrígeme si me equivoco, pero creo que existen ilusiones acústicas de la misma forma que existen ilusiones ópticas, es decir que, de alguna manera, el cerebro funciona por cuenta propia. Una de las ilusiones clásicas es el famoso cubo de Necker: si miras el cubo parece que esté hacia arriba, pero si vuelves a observarlo parece que esté en una posición ligeramente diferente. Tú has demostrado la existencia de ilusiones acústicas, ¿verdad?

D.D. Me sorprendió mucho el hallazgo, porque no lo esperaba en absoluto. Es una ilusión muy potente. Imagina una partitura en la parte superior de esta página: una parte del espacio —que correspondería, con auriculares, a un oído— recibe una secuencia muy desordenada, y la otra parte del espacio también. Pero en la parte inferior de la página aparecería lo que se escucha verdaderamente, y es completamente diferente. Es como si el cerebro rechazara los modelos desordenados y

reorganizara el espacio y el sonido de forma que se escuchen melodías iguales. Cuando se presenta un canal a la derecha del oyente, el de la izquierda no oye los dos canales que se están tocando, sino que reorganiza conceptualmente los sonidos de manera que parece que todos los sonidos agudos proceden de un altavoz y los graves del otro. Es muy extraño porque los diestros tienden a oír los sonidos agudos del altavoz de la derecha y los graves del de la izquierda, al margen de la posición en que se encuentren los altavoces.

E.P. Es decir que los diestros perciben las notas de forma diferente que los zurdos.

D.D. Exacto. Los diestros tienden a oír los tonos agudos en la derecha y los graves en la izquierda, procedan de donde procedan. Pero los zurdos, como grupo, tienden a no oírlo de esta forma. Los zurdos son muy diferentes entre sí y, estadísticamente, existen más modelos de percepción entre zurdos que entre diestros…

E.P. Perdona que te interrumpa, pero ¿por qué? ¿Es porque las neuronas que se encargan de escuchar la música son diferentes de las neuronas que localizan de dónde proviene la música?

D.D. Es parte del problema, que muestra que los zurdos y los diestros tienen formas diferentes en la organización del cerebro. La gran mayoría de diestros tienden a tener el habla representada en la parte izquierda del cerebro, mientras que los zurdos, como grupo, son muy diferentes entre sí y, por tanto, no existen diferencias en la percepción de la música donde actúa el espacio y que se correlaciona estadísticamente con la dexteridad.

E.P. ¿Y qué ocurre en las orquestas? ¿Se tiene en cuenta la colocación de los músicos?

D.D. Es muy interesante ya que no sólo los diestros tienden a oír los tonos agudos en la derecha y los graves a la izquierda, sino que puedes tener otra configuración. Si tienes una configuración especial en que los sonidos agudos están a la derecha y los graves a la izquierda, puedes escuchar esos modelos más claramente que cuando los graves están en la derecha y los agudos en la izquierda. Es interesante la colocación de los músicos en la orquesta. Desde la perspectiva de los músicos, los

instrumentos con un registro más agudo se sitúan a la derecha y los más graves a la izquierda. Por ejemplo, en la sección de violines, los primeros violines están a la derecha de los segundos, que están a la derecha de los terceros, y los violoncelos se colocan a la derecha de los contrabajos. En los instrumentos de viento, la trompeta está a la derecha del trombón, que está a la derecha de la tuba. Esta colocación es fruto de muchas pruebas, de un proceso de juicio y error, que lleva a la colocación más perfecta posible de los instrumentos, que se traduce en la mejor interpretación posible, ya que, al fin y al cabo, los músicos tienen que poder escucharse en las mejores condiciones posibles para interpretar la música de la mejor manera posible.



La colocación ideal de la orquesta desde el punto de vista del público.

E.P. Ha sido un proceso evolutivo.

D.D. Creo que sí, ya que los directores de orquesta simplemente ensayaron con diferentes colocaciones de los instrumentos de la orquesta y, poco a poco, evolucionó la colocación.

E.P. ¿Y qué sucede con los espectadores? ¿La colocación ideal para los músicos es la óptima para los espectadores?

D.D. Este es el *quid* de la cuestión. Desde el punto de vista de los espectadores, la colocación de izquierda a derecha es la colocación inversa, como la imagen que refleja un espejo. Por tanto, desde el punto de vista de los espectadores los instrumentos con registros más agudos están colocados a la izquierda, y los instrumentos de tonos graves están a la derecha, de manera que para los espectadores, es la peor colocación para la percepción. No existe ninguna solución, porque si se invirtiera la colocación de la orquesta, los músicos no se oirían entre sí igual…

E.P. Un colega tuyo sugirió que la solución era dejar a la orquesta como está y colgar del techo a los espectadores.

D.D. Es una solución teórica, pero inaceptable para los espectadores. También se propuso colgar del techo a la orquesta, o aceptar sólo a espectadores zurdos, porque su percepción no tiene este problema, pero me parecen ideas un poco disparatadas. Todavía no se ha encontrado una solución, es una paradoja.

E.P. Has escrito sobre un enfrentamiento entre el director de orquesta Arthur Nikisch y el compositor Chaikovsky. Parece ser que a Nikisch no le gustaban algunas partes de la sinfonía del músico, e interpretas que quizá no le gustaban porque Nikisch era muy preciso, tenía muy buen oído, y entonces los músicos no se colocaban a su derecha.

D.D. Sí, cuenta la leyenda que Chaikovsky y Nikisch discutieron, poco antes de su estreno, sobre el último movimiento de la sexta sinfonía, y se enfrentaron porque el tema y el acompañamiento se alternaban entre los primeros y los segundos violines, que entonces se sentaban unos en frente de los otros en el escenario. Nikisch quería reestructurar la pieza de forma que los primeros violines tocaran el tema y los segundos el acompañamiento, pero Chaikovsky quería mantener la pieza como la había compuesto. De hecho, la obra se estrenó como quería Chaikovsky.

E.P. Quizás en esa época se desconocía el cubo de Necker y que también existen ilusiones acústicas. Centrémonos en otra paradoja, la de Tritón, como tú la llamas. Está relacionada con el lenguaje musical, con la

percepción de la música. Sugieres que no todos percibimos la música de la misma forma…

D.D. Exactamente. Suelo demostrar mi teoría tocando diferentes ejemplos de la paradoja de Tritón y preguntando si suben o bajan unos modelos muy simples formados por dos tonos. La pregunta es: ¿cuándo lo oyes, sube o baja? Tocaré el modelo y haré una pausa para preguntarte cómo lo oyes. ¿Crees que sube o baja?

E.P. Baja.

D.D. A mí me parece que sube. En realidad, existe un gran desacuerdo sobre este modelo y la forma en que sube o baja. Sigo. Tengo cuatro modelos y en cada caso te preguntaré lo mismo.

E.P. Para mí baja.

D.D. Pues para mí sube.

E.P. No puedes equivocarte, porque eres la mayor experta en física de la música. Soy yo el que se equivoca.

D.D. Muchos californianos oyen este modelo como tú, pero yo soy del sur de Inglaterra y la mayoría de gente del sur de Inglaterra está de acuerdo conmigo. ¿Qué te parece el siguiente? Es diferente. ¿Sube o baja? A mí me parece que baja.

E.P. A mí que sube.

D.D. Es como si oyéramos lo contrario… Y el tercero, ¿sube o baja?

E.P. Sube, ¿verdad?

D.D. Baja. ¿Y el último?

E.P. Creo que sube.

D.D. Parece que escuchemos lo contrario.

E.P. ¿Por qué?

D.D. La paradoja demuestra que la manera en que se oye este modelo en particular está relacionada con los sonidos de tu lengua, de la lengua aprendida en la infancia. Por tanto, el área geográfica determina cómo se oyen los modelos. Por ejemplo, la gente del sur de Inglaterra, como yo, no está de acuerdo con la gente de California. Desde que lo he demostrado, otros investigadores lo han corroborado en otros contextos: las percepciones de la gente de Grecia y de Texas, o de Minesota y de Suecia, son completamente diferentes. Otros estudios

han demostrado otras relaciones geográficas diferentes. Otra prueba consiste en que alguien hable ante un micrófono durante cinco minutos y grabar la locución. Entonces se toman muestras de la voz de distintos tonos y se analizan los valores en que hay mayor incidencia de tonos. Parece ser que esta gama de tonos está relacionada estadísticamente con la manera en que se percibe la paradoja de Tritón, y es una relación muy pronunciada. De manera que, por ejemplo, si alguien emite un juicio de valor sobre la paradoja de Tritón, yo puedo intuir cuál será su gama de tonos y si escucho una locución puedo decir —si son mujeres, porque no se me da muy bien adivinar la gama de tonos del habla de los hombres— cómo responderán a la paradoja de Tritón.

E.P. Diana, no me digas que las mujeres tienen una percepción diferente de la música que los hombres.

D.D. No, no quiero decir esto, sino que estoy más acostumbrada a los tonos del habla de las mujeres que al de los hombres. Pero me has hecho una pregunta muy interesante. En mis estudios sobre las grandes diferencias en la percepción de la música, he constatado la ilusión de la escala —la percepción diferente de los zurdos y los diestros—, o la paradoja de Tritón —las diferencias según la lengua materna y la procedencia geográfica—, pero no he encontrado ninguna diferencia que dependa del sexo del oyente. Puede que en el futuro se descubran, pero yo no he encontrado ninguna diferencia entre la percepción femenina y masculina.

E.P. Un neurocientífico me dijo que el mismo grupo de neuronas que se encarga de los alimentos y el sexo también se encarga de la música, de ahí que a todo el mundo le guste la música.

D.D. Es muy significativa nuestra percepción de la música: si dos personas la perciben de forma completamente diferente, sus preferencias estéticas serán muy diferentes. Pero más allá de las preferencias, creo que algún componente del gusto por la música está relacionado con ciertos modelos de ritmo que penetran de forma muy básica.

E.P. Casi genética.

D.D. Es posible. Creo que la mayoría de diferencias en la percepción musical son fruto de la música que se escuchó en la niñez, de la misma manera que el llamado periodo crítico para el desarrollo de ciertas características del habla se da entre el primer y segundo año de la vida, e incluso en el tercero. Creo que la música que se escucha, o a la que se está expuesto en los primeros años de vida influye mucho en la percepción musical del adulto.

E.P. Diana, sugieres que si los niños estuvieran expuestos a buena música desde la infancia, cuando fueran mayores les gustaría la música, porque es casi como una capacidad genética, como la que nos lleva a comer, hablar o a hacer el amor. Por tanto, si una persona no posee la capacidad de percibir la música, probablemente esté relacionado con su primera educación o sus genes, ¿verdad?

D.D. Sí, pero no descarto que intervengan otros factores. De todos modos, estos dos factores influyen mucho en la percepción musical; yo casi diría que son determinantes.

E.P. Como gran conocedora de la física y la psicología de la música, ¿por qué crees que la música occidental, tan métrica y racional, es tan diferente de la música no occidental, en que la melodía y la improvisación desempeñan un papel más predominante?

D.D. Soy partidaria no sólo de la exposición a la música en la infancia, sino también a otros modelos lingüísticos, porque cada habla tiene unas características especiales que se reconocen luego en la música. Esta idea, en realidad, es muy vieja. Es la idea de que para apreciar bien la música se tiene que parecer a tu lengua. Y es importantísimo, porque existe una gran conexión entre el flujo melódico del habla que se percibe y el tipo de música que nos gusta.

E.P. Y a ti, Diana, ¿qué música te gusta?

D.D. ¿A mí? A mí me gusta mucho Schubert, Bach y la guitarra clásica de Andrés de Segovia, soy una gran admiradora de la música que tocaba y componía. Y Mussorgsky. Casi nadie se da cuenta, pero hizo un gran esfuerzo para que su música imitara el sonido del habla.

E.P. Creo que el compositor Mussorgsky dijo que la función del arte era la reproducción en forma de sonidos musicales no sólo de sentimientos, sino del habla.

D.D. Exacto. Dijo que «cuando escucho cualquier lengua, mi mente —mi cerebro— comienza a buscar inmediatamente una exposición musical para ese habla». Era su objetivo y creo que lo consiguió maravillosamente. Si escuchas sus canciones conociendo su objetivo, de pronto te conectas a una modalidad diferente de oír y verdaderamente suena como el habla rusa; si lo escuchas así, se reconoce. Aunque su música no sólo me gusta por esto, era un músico extraordinario con una imaginación increíble.

A Diana Deutsch —como a muchos lectores de este libro— no le sorprendió que parte del capítulo dedicado a saber si los neandertales hablaban indagara en la física de la música.

Capítulo X

No evolucionamos hacia algo mejor y más grande

Stephen Jay Gould

Richard Dawkins

Stephen Jay Gould, fallecido en mayo de 2002, fue paleontólogo de la Universidad de Harvard y un gran divulgador científico. Fue el impulsor de la teoría del equilibrio puntuado, que sostiene que la evolución sucede en cambios rápidos que producen la diferenciación de las especies, en lugar de a partir de transformaciones graduales y continuas.

Richard Dawkins, profesor de comprensión de la ciencia de la Universidad de Oxford, es conocido internacionalmente por su papel de divulgador de las ideas darwinianas Sus libros inventan metáforas que ayudan a ilustrar el debate sobre las teorías evolutivas

No hay propósito en la evolución

Stephen Jay Gould

«Existen restos fósiles de bacterias que tienen más de trescientos cincuenta millones de años. Y todavía son la forma de vida dominante en la Tierra.»

A lo largo de los últimos diez años he seguido impartiendo clases en la universidad, pero ni siquiera mientras dictaba una lección podía abstraerme de las ideas que me habían explicado o me iban a contar en breve los casi trescientos científicos de todo el mundo con los que he conversado sobre la mente, la vida y el Universo. Literalmente, he vivido en una nube que, tal vez, se desvanezca al publicar este libro.

Es muy probable que no olvide a ninguno de los científicos con los que he conversado esta década. Creo que me acordaré siempre de los cuarenta que elegí para el libro. La elección fue completamente subjetiva, condicionada exclusivamente por lo que yo consideraba que sería interesante para el lector, al margen del prestigio, los premios o la profundidad de pensamiento del científico.

Pero si hay un científico al que no olvidaré nunca, es Stephen Jay Gould, y no sólo por nuestro primer y muy accidentado encuentro en la Universidad de Harvard. Habíamos acordado que la reunión sería a las siete de la tarde de un día de clase en su despacho, un espacio inmenso y destartalado, con un sillón con el asiento sin forro, una mesa sin sillas y docenas de cajas de cartón llenas de fósiles para catalogar. Era pleno invierno y Stephen Jay Gould regresaba de un viaje académico a Nueva York. Con media hora de retraso, una colaboradora suya entró en el despacho para darme la triste noticia de que una tormenta había impedido al paleontólogo más famoso del mundo coger el avión de regreso en Nueva York. Dice mucho a favor del personaje —Gould llenaba cualquier espacio con sus gestos y su chorro de voz— que su colaboradora fuera el colmo de

la afabilidad y la ternura. Anonadada por el percance y decidida a evitar que mi viaje de Barcelona a Boston fuera en vano, fijó la entrevista para el día siguiente por la mañana, entre dos clases, sin consultar, claro, con su jefe, que seguía deambulando contrariado por el aeropuerto de Nueva York.

Cuando a las diez de la mañana del día siguiente enfilé el pasillo camino de su despacho, doctorandos y profesores se asomaron para indagar el porqué de los gritos que llegaban desde el despacho de Gould, que mostraba su indignación porque no quería que se dispusiera de su precioso tiempo sin su consentimiento. Durante los primeros minutos de la entrevista, sólo contestó a mis preguntas con los monosílabos yes *y* no, *para demostrar su contrariedad.*

Cuando edité la conversación y eliminé la retahíla inicial de preguntas con respuesta monosilábica, me di cuenta de dos cosas: en primer lugar, que sería la conversación más breve de las transcritas en este libro y, en segundo lugar, que era la más reveladora de la aportación de la teoría científica, porque Stephen Jay Gould tenía mil maneras —largas y breves, floridas y escuetas— de subrayar la gran contribución de los paleontólogos al pensamiento moderno: habernos concienciado de que «somos la última gota de la última ola del gran océano cósmico». La otra gran categoría de paleontólogos —los Leakey, Walcott, Johanson, Coppens o Crusafont— han estado en las canteras y las cuevas descubriendo los fósiles con los que Gould ha colocado a los homínidos en el mapa del tiempo y la complejidad.

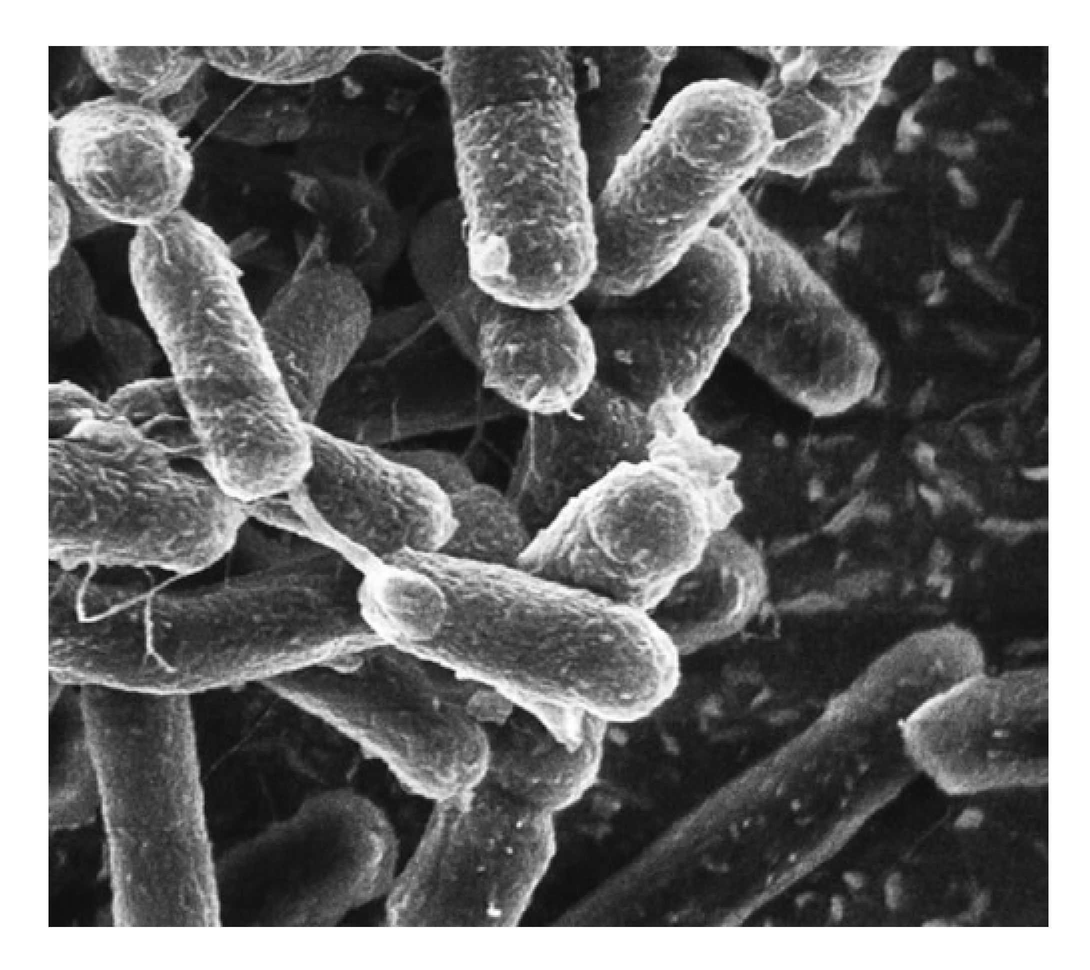
EDUARDO PUNSET. Has dicho a menudo que no ves en la historia de la evolución ningún indicio de que caminemos hacia cosas más grandes, en el sentido de que no encuentras una línea de progreso en la evolución.

STEPHEN JAY GOULD. Claro, no sé si podría existir, porque las bacterias han dominado siempre la vida en la Tierra. No marchamos hacia algo más grande y mejor. Y pensar que nosotros, por el hecho de ser unas criaturas más complejas, tenemos mayores probabilidades de éxito, no es convincente, no garantiza nuestro éxito a largo plazo. Existen restos fósiles de bacterias que tienen más de trescientos cincuenta millones de años, y todavía son la forma de vida dominante

en la Tierra. Pero los humanos hemos creado sistemas de representación de la historia de la vida en que la evolución conduce y culmina en nosotros, aunque los mamíferos complejos —un insignificante número de especies—, probablemente, no son tan importantes si tenemos en cuenta la historia de la Tierra en su conjunto. Por razones de química y física, la vida debe originarse a partir de estructuras muy simples. Y existe un espacio disponible para las formas de vida complejas, pero los seres vivos, en su gran mayoría, siempre se han mantenido muy simples en el nivel de las bacterias. Y, a decir verdad, les va muy bien.

E.P. Profesor Gould, ¿crees que la aparición de los primeros artrópodos es tan importante como la aparición de los primeros homínidos hace cuatro millones de años?

S.J.G. Por supuesto, los artrópodos son más importantes porque son, con mucha diferencia, la línea de vida pluricelular más extendida. Sólo existen cuatro mil especies de mamíferos y cuarenta mil especies de vertebrados, mientras que existen millones de especies de insectos y muchas otras que todavía no se han identificado. Sin duda, los artrópodos son, cuantitativamente, la forma de vida animal dominante hoy en día, y seguirán ahí cuando nosotros ya no existamos. Podríamos auto extinguirnos en un holocausto nuclear y la diversidad de los insectos no se vería gravemente afectada. Por ejemplo, existen más de cinco mil especies distintas de escarabajos. Por tanto, teniendo en cuenta que los artrópodos son mayoritarios y que gran parte de los artrópodos ha evolucionado bastante, se puede decir que son los precursores del grupo animal dominante del planeta. Seguimos estando en la era de los artrópodos



Bacterias. Estaban antes que nosotros y nos sobrevivirán.

E.P. Centrémonos en los cambios. Un amigo mío de la Universidad de París, Miroslav Radman, especialista en genética, ha estudiado las bacterias durante más de quince años y argumenta que su ventaja respecto a los humanos es que ante un futuro incierto tienen la capacidad de mutar más rápidamente. Hoy no abundan prescriptores del cambio, quizá sólo en ciertos círculos académicos…

S.J.G. Pero es el resultado de un cambio cultural, que es mucho más rápido que cualquier evolución biológica. La evolución biológica es tan lenta e impredecible que nos rompe los esquemas. En cambio, los avances tecnológicos de la humanidad son impresionantes y, además, totalmente impredecibles. En los últimos doscientos años hemos desarrollado técnicas para destruir toda la Tierra, comunicarnos al instante, salir del planeta… Podemos hacer más cosas que nunca.

E.P. Pero la complejidad entraña mayor incertidumbre, existen demasiadas opciones y la mejor apuesta para sobrevivir es apostar por todo, por la diversidad, garantizarla como sea.

S.J.G. Sí, es una opción muy inteligente, pero no sé si somos tan inteligentes como para conseguirlo.

E.P. Y la diversidad, todavía florece como en otros tiempos, ¿verdad? ¿O en el pasado existía mayor diversidad que ahora?

S.J.G. Probablemente ahora existan más especies que nunca, pero en otras épocas había más organismos con anatomías básicas distintas. La llamada explosión del Cámbrico, hace quinientos setenta millones de años, marcó la llegada de casi todos los grupos de animales modernos. La rara fauna de los fósiles con el interior blando —y no sólo sus partes rígidas— de la cantera de Burgess Shale es nuestra ventana para observar la naturaleza verdadera y la diversidad de la vida remota. Pero la diversidad no es fácil de conseguir, y cuando se pierde no se vuelve a recuperar. Si se eliminan grupos principales de organismos, en realidad se eliminan líneas evolutivas con varios miles de millones de años de historia a sus espaldas. Hacen falta miles de millones de años para construir algo, pero se puede destruir en una minúscula fracción del tiempo que se necesitó para crearlo.

E.P. Te has referido muchas veces a las medidas o las valoraciones incorrectas que hacemos los humanos. ¿Cuál es, a tu juicio, el mayor malentendido sobre el ser humano o el planeta?

S.J.G. A grandes rasgos, creo que existen dos grandes malentendidos. Lo peor que podemos hacer, y lo hemos hecho a lo largo de la historia, es no reconocer que todos los seres humanos somos muy parecidos. La especie humana sólo tiene unos doscientos mil años. Y ahora que podemos analizar las diferencias genéticas entre los seres humanos, podemos demostrar que aunque haya diferencias entre las distintas razas en los caracteres externos como la piel o el cabello, es evidente que somos muy parecidos. Existen pequeñas diferencias genéticas entre las llamadas razas humanas, pero no podemos equivocarnos sucumbiendo a nuestros propios prejuicios, asumiendo esas diferencias y proclamando que nuestro grupo es superior a otro. Es la triste

historia del racismo, la xenofobia y los genocidios, basados en una perversión moral y biológica. El otro gran error que cometemos es creer que somos los reyes de la Tierra y que tenemos derecho a decidir su futuro. Y como tenemos poder para hacerlo, no nos preocupamos por los problemas que causamos a otros organismos, otras especies o el entorno. Es un error trágico con consecuencias potencialmente muy peligrosas. Deberíamos ser un poco modestos y reconocer que todos somos una especie unificada y que tenemos menos poder del que creemos; seguro que entonces todo iría mejor.

E.P. ¿Deberíamos pensar en el tiempo desde una perspectiva geológica?

S.J.G. Absolutamente. Es el concepto más significativo con el que mi ciencia contribuye en la humanidad. La Tierra tiene miles de millones de años, no sólo miles de años; y hasta hace doscientos o trescientos años, en Occidente se creía que la Tierra tenía, como máximo, cuatro o cinco mil años y que toda la historia de la Tierra, excepto los primeros días, estaba protagonizada por los humanos. Estas ideas nos hicieron todavía más arrogantes, como si la Tierra estuviera hecha a nuestra medida y su historia fuera la de la humanidad. Ahora comprendemos que la Tierra tiene miles de millones de años y que la historia de la humanidad es sólo el último fragmento de un segundo al final de este inmenso período de tiempo cósmico. Tenemos que comprender que la Tierra no está hecha para nosotros, que nosotros sólo somos unos invitados que estamos aquí gracias a un afortunado accidente. Quizás esta idea haga aumentar nuestro respeto y nuestra humanidad.

E.P. Desde una perspectiva geológica del tiempo, ¿existen indicios de nuevas extinciones masivas?

S.J.G. Se conocen cinco extinciones masivas en los quinientos cincuenta millones de años de existencia de vida animal en la Tierra. Es decir que, aproximadamente, ocurre una extinción cada cien millones de años, no muy a menudo. Por supuesto, no ha habido nunca en la Tierra otra especie como la humana, con una conciencia única, para bien o para mal, y con tanto poder. Muchas especies se están extinguiendo porque modificamos su hábitat, y son tantas las especies que desaparecen que puede ser que la especie humana esté causando una

extinción masiva. Deberíamos ser más inteligentes para que no ocurriera. El futuro dirá, pero una extinción masiva nunca ha significado la desaparición absoluta de la vida; la vida sigue y aquí estamos. Si los dinosaurios no se hubieran extinguido hace sesenta y cinco millones de años, ahora no estaríamos aquí, ya que los dinosaurios hubieran dominado a todos los pequeños mamíferos durante cientos de miles de años, hasta que hubiera aparecido otro importante fenómeno externo. La cuestión es que la desaparición de los dinosaurios permitió que los pequeños mamíferos pudieran evolucionar. Y por eso estamos aquí.

Los genes y el pasado

Richard Dawkins

«Algunos viven en los árboles, otros en el mar, otros bajo tierra, otros vuelan, otros cavan. Pero fundamentalmente, todos están haciendo lo mismo: trabajar para sobrevivir, y, por tanto, transmitir al futuro las instrucciones que les permiten existir.»

Richard Dawkins es, junto a Stephen Jay Gould, el otro gran científico y divulgador del siglo XX *y, me atrevo a decir, del siglo* XXI*. Aunque han hecho avanzar mucho la ciencia y, a la vez, la han acercado a la comprensión pública, es muy probable que Dawkins jamás sea galardonado con el el premio Nobel. Los Nobel sólo premian los descubrimientos de científicos que, en el mundo anglosajón, se califican de* drillers *—perforadores, en su acepción castellana—, en lugar de científicos visionarios impregnados de una curiosidad intelectual arrolladora. Tanto Richard Dawkins como Stephen Jay Gould pertenecen a la segunda categoría.*

Mi primer encuentro con Richard Dawkins se produjo en Munich, en la jornada organizada por John Brockman. Casi dos mil jóvenes abarrotaban la sala.

A Dawkins le debemos la idea, formulada en libros como El relojero ciego *y* El gen egoísta, *de que, en el fondo y en la forma, somos como máquinas o taxis de corto recorrido que transportan genes en su carrera inagotable por la supervivencia. Pero su visión de la evolución y, particularmente, de la cultura va mucho más allá. Sostiene que el siglo* XX *es digital, y que la discontinuidad digital ha hecho viable la tecnología electrónica moderna. En cierto modo, se relaciona con la física y la biología.*

RICHARD DAWKINS. Las fibras nerviosas no sólo funcionan con códigos analógicos, sino que los cálculos teóricos demuestran que no funcionarían sin códigos digitales. Los impulsos nerviosos son como disparos que provienen de una ametralladora. La diferencia entre un mensaje fuerte y un mensaje débil no radica en la intensidad de los impulsos, sino en su frecuencia. Ver el color amarillo, oír el ruido del mar, sentir el olor del aguarrás, tocar la textura del terciopelo, tener frío o calor… las diferencias entre estas sensaciones se procesan en nuestro sistema nervioso mediante la valoración de los disparos o los impulsos. Si pudiéramos escuchar el interior de nuestro cerebro, nos parecería un campo de batalla.

EDUARDO PUNSET. ¿Qué consecuencias tendrá la convulsión económica, social y personal que conlleva la irrupción de la nanotecnología?

R.D. La nanotecnología consiste en crear máquinas minúsculas a escala molecular, y tiene un futuro muy prometedor. En cierto modo, sabemos que se puede realizar, puesto que la biología molecular es pura nanotecnología natural. Existen moléculas, como las encimas y las proteínas, que funcionan catalizando reacciones químicas concretas. Podríamos considerar que estas moléculas son como instrumentos mecánicos diminutos, útiles a escala molecular, y existen millones de ellos. En principio, parece que podremos diseñar máquinas de tamaño molecular, pero sólo son efectivas si se utilizan millones de máquinas a la vez. Por tanto, tienen que duplicarse —y es muy viable en el caso de estructuras moleculares—. Podemos diseñar un único ejemplar y a continuación duplicarlo mediante un proceso de producción. Posteriormente, liberaríamos en el interior del organismo millones de máquinas que arreglarían las averías, curarían ciertas enfermedades, como el cáncer, y actuarían en ciertos tratamientos en los que el bisturí quirúrgico es demasiado agresivo.

E.P. Funcionamos como máquinas

R.D. Toda la vida es un conjunto de máquinas maravillosas, cada ser vivo es una máquina capaz de gestionar su ADN, y cada animal lo hace de manera diferente. Algunos animales viven en los árboles, otros en el

mar, otros bajo tierra, otros vuelan, otros cavan, pero, en esencia, todos están haciendo lo mismo: trabajan para sobrevivir y, por tanto, para transmitir al futuro las instrucciones que les permiten existir. Es una parte muy hermosa del pensamiento universal porque, en cada caso, los detalles de las instrucciones son diferentes. Un topo está preparado para cavar la tierra y comer gusanos, mientras que los genes de un águila la instruyen para volar y cazar sus presas. Pero en todos los casos, la clave es la supervivencia de las propias instrucciones. Yo me reafirmo en este concepto.

E.P. Has sido muy criticado por sostener que los genes cuentan más que los individuos en el proceso evolutivo.

R.D. Los individuos son muy importantes porque son los que viven. Caminan, observan, cazan, se escapan, se agrupan… Pero es necesario mirar a través del individuo para conocer qué sucede en su interior. De hecho, los dos niveles son importantes, no podemos ignorar al individuo, pero si queremos comprenderlo verdaderamente tenemos que observar las instrucciones fundamentales del ADN, que permiten el desarrollo y el comportamiento del individuo.

E.P. Richard, ¿crees que los genes están fatigados o envejeciendo? ¿O están siendo destruidos? ¿O siguen tan exuberantes como siempre?

R.D. Es una idea que deberíamos tener en cuenta, ya que la evolución de la vida se ha desarrollado a lo largo de miles de millones de años y desde hace centenares de millones de años existen, más o menos, las mismas formas de vida, los grandes organismos pluricelulares. Podría parecer que los genes se cansan y que las cosas deberían cambiar con el paso de centenares de miles de años, pero siguen igual de exuberantes.

E.P. ¿Y no se pierde información genética durante el proceso? Se dice que algunos cromosomas, en su proceso de división, pueden perder fragmentos en los que había información.

R.D. Sí, sucede constantemente, pero es parte del proceso general de mutación: se pierden fragmentos de cromosomas y se multiplican otros fragmentos. El genoma, con el paso de las generaciones, no es fijo, no

está en continuo crecimiento, sino que existe como un flujo de información. Siempre ha sido así y seguirá siendo así. El patrón general es muy parecido al de hace trescientos millones de años.

E.P. Al contemplar las cosas hermosas del mundo —un ave maravillosa, un río cristalino, si todavía quedan—, surge la pregunta de si ha sido diseñado por alguien o es fruto de un proceso de selección natural. En otras palabras, ¿el mundo es una creación o el resultado de la selección natural?

R.D. No existe diseño alguno, ni en la Tierra ni en el Universo. El mejor candidato para ser diseñado ha sido siempre la vida. La vida siempre ha sobrevivido, hasta llegar a ser, con los humanos, el fenómeno más perfecto que pueda diseñarse jamás. Los seres vivos son tan hermosos, tan elegantes, tan complicados… y cada fragmento de un ser vivo parece haber sido diseñado. El ojo parece diseñado para enfocar una imagen y analizarla, el oído para oír, las manos para coger objetos, las piernas para caminar, pero no es así, nada ha sido diseñado. En 1850, Darwin demostró la demoledora, simple y verdadera explicación de cómo ha sucedido todo. El resultado de los mecanismos de Darwin, la supervivencia de los caracteres y la selección natural, es el desarrollo de máquinas increíblemente complicadas que parecen haber sido diseñadas. La sensación de diseño es casi perfecta, aunque existen ciertas imperfecciones en el diseño de las formas vivas. Ciertos errores son interesantes porque no existirían si la vida fuese un diseño, pero son fruto de la influencia de la historia y la selección natural.

E.P. Quisiera citarte textualmente un par de expresiones tuyas a propósito de los genes. Has escrito que los genes son «una descripción codificada de un pasado lejano», «un manual de supervivencia» y «el libro genético de los muertos». Me parece extraordinario…

R.D. Es una consecuencia darwiniana. Los genes son como un manual de supervivencia de un entorno pasado, puesto que fue en el pasado cuando estos genes superaron la selección natural. Hoy en día sabemos sobrevivir, y cualquier otro animal puede sobrevivir si el pasado codificado en sus genes no es muy diferente del presente. Por eso los animales logran sobrevivir. Cuando el presente diverge mucho del

pasado, entonces se escinden, porque están adaptados, «diseñados», para el pasado y no pueden sobrevivir. La consecuencia es que los genes vigentes actualmente son una descripción del pasado, del mundo en el que sobrevivieron los antepasados. De ahí mi frase «el libro genético de los muertos».

E.P. Y los cambios rapidísimos de hoy en día, como la tecnología, ¿pueden ser una amenaza genética para los manuales del pasado?

R.D. Sí, todo cambio radical en el entorno es una amenaza. Las eras glaciales, las sequías, los períodos de grandes terremotos, los cometas y los meteoritos del espacio exterior son una amenaza, y los meteoritos en particular exterminaron a los dinosaurios. La tecnología y la civilización humanas son una amenaza porque han cambiado radicalmente el mundo. A causa de la influencia humana, el mundo ha cambiado de forma drástica respecto a como era tiempo atrás. Y casi todos los animales, excepto los que pueden evolucionar muy rápidamente, como los mosquitos, las moscas o las bacterias, están adaptados para vivir en un mundo prehumano, y el mundo humano les es hostil. Algunas especies, como las ratas o las gaviotas, se adaptan muy bien, cambian su modo de vida.

E.P. ¿También se adaptan a cambios catastróficos?

R.D. Sí, aprovechan los cambios que los humanos han provocado, pero otras especies no pueden adaptarse, por eso muchas se están extinguiendo. Aunque eso no significa que los humanos las extingan deliberadamente.

E.P. ¿Y qué será de los humanos? ¿Podrán sobrevivir?

R.D. En conjunto, a los humanos les va sorprendentemente bien. Es cierto que existen muchas patologías mentales y alienaciones debidas a que ciertos humanos se sienten en un entorno extraño, pero, en general, como biólogo me impresiona que nuestra especie tolere la vida de este entorno tan antinatural.

E.P. Se podría argumentar que, además de la información codificada en los genes, ahora existe la información aprendida y almacenada en el cerebro que da lugar a la tecnología. Y, por primera vez en la historia, los dos cauces de conocimiento están colisionando entre sí, ¿verdad?

R.D. Sí, es una idea fascinante. Mi expresión «el libro genético de los muertos» proviene, claro está, del conocimiento cerebral. Es como darle la vuelta a la misma analogía. Tienes razón, contamos con dos líneas separadas de conocimiento del pasado que son, a la vez, conocimiento sobre cómo sobrevivir, es decir, el conocimiento sobre cómo ha sobrevivido la especie en un pasado reciente. Y una de estas líneas avanza infinitamente más deprisa que la otra, porque los cambios culturales son mucho más rápidos que los genéticos. Los cambios genéticos no se han detenido, pero son tan lentos que…

E.P. Apenas los notamos.

R.D. O no los notamos en absoluto. Para comprender verdaderamente la historia humana tendríamos que olvidar toda la teoría evolutiva y partir de cero. El animal que vivía en África en la edad de piedra no ha cambiado mucho, pero está creciendo bajo la influencia del conocimiento cultural. Por tanto, el libro de los muertos más reciente, el de la cultura, está creciendo, aunque no sé si el conocimiento genético y el cultural entrarán en conflicto. Quizá las únicas catástrofes previsibles sean que el avance cultural no pueda asumir la catástrofe, o que el avance cultural produzca una tecnología tan avanzada que sea peligrosa. Hoy en día disponemos de armas que pueden destruir el mundo del mismo modo que un meteorito eliminó a los dinosaurios hace sesenta y cinco millones de años. Es una de las condiciones del futuro.

Capítulo XI

La cultura animal: no somos distintos

John Bonner

Jordi Sabater Pi

Nicholas Mackintosh

John Bonner, profesor emérito de Ecología y Biología Evolutiva de la Universidad de Princeton, en Estados Unidos. Sus trabajos se basan en estudios de hongos mucosos celulares, también conocidos como amebas sociales, que le permiten lanzar preguntas como por qué este sistema aparece por selección natural y cuáles son los mecanismos que le permiten desarrollarse.

Jordi Sabater Pi, catedrático emérito de Psicobiología y Etología de la Universidad de Barcelona, trabajó durante más de treinta años en África Occidental, estudiando a los primates superiores de este territorio. Fue él quien salvó a Copito de Nieve de una muerte segura en la selva, tras encontrarlo solo y desnutrido, y lo llevó al Zoo de Barcelona.

Nicholas Mackintosh, psicólogo experimental de la Universidad de Cambridge, donde trabaja en teorías de aprendizaje asociativo animal y de aprendizaje a través de la percepción. En sus estudios habla de la inteligencia como un conjunto de procesos diversos y heterogéneos, de operaciones y de capacidades, que desarrollan en diferente grado todos los vertebrados.

Las diferencias con una ameba

JOHN BONNER

«Es la capacidad de comunicación, y no cómo se realiza, lo que importa. Es una verdad de todos los organismos.»

Es sorprendente constatar —incluso para mí, que no soy reacio a hacerlo— la cantidad de veces que me he equivocado en cuestiones esenciales a lo largo de mi vida. En la década de los cincuenta, a mi regreso de Estados Unidos, donde acababa de descubrir el funcionamiento de un sistema, decidí militar en el Partido Comunista, tras leer por vez primera el Manifiesto comunista *—en Estados Unidos, por supuesto, porque en España ni se podía ni se pudo durante décadas—. Fue un despropósito no prever el desmoronamiento de un sistema sectario como el soviético, sustentado en la supresión de las libertades individuales.*

La noche del 23-F, cuando las tropas de Tejero irrumpieron en el Congreso de los Diputados, yo era ministro de Relaciones con las Comunidades Europeas. Acababa de cerrar mi etapa de veinte años en el extranjero. Cuando tras unas horas de silencio, impuesto por los guardias civiles, mi compañero de banco azul me preguntó qué me pasó por la cabeza cuando empezó la refriega con tiros al aire y gritos de «todos al suelo», le contesté: «¡¿Por qué se me habrá ocurrido regresar a España justo ahora?!». Es sólo un ejemplo de que —por lo menos en mi caso— la capacidad del cerebro para gestionar procesos es escasa.

En el capítulo cinco, titulado «La senectud del planeta», recordaba mi convicción, expresada al científico Joan Oró, de que las primeras fotografías de la Tierra realizadas desde los satélites del espacio convencerían a la gente de que, en realidad, las fronteras entre los países eran una ficción que delataban y negaban las fotografías espaciales. No parecía descabellado pensar que la gente cuestionaría la existencia de las

fronteras legales porque, en realidad, no existen. Desafortunadamente, ha ocurrido todo lo contrario y el nacionalismo —étnico, cultural y político— está más vivo que nunca.

Un último ejemplo de mi capacidad de autoengaño, tan estridente como los anteriores pero más relevante en el contexto de este capítulo sobre la cultura animal, está ligado a la secuenciación del genoma. No me he cansado de repetir que la constatación pública de que nuestro ADN es idéntico al de los demás animales —desde la mosca Drosofila hasta los chimpancés— iniciaría un proceso de arrepentimiento colectivo por el maltrato despiadado de los animales. Nadie podrá seguir matando a gatos por las noches, arrojando piedras a los perros, arrojando cabras desde los campanarios, desangrando toros o experimentando con chimpancés en laboratorios, porque nadie cometería tales fechorías con sus propios primos hermanos. Aunque los humanos formemos parte del grupo de los tetrápodos con el pez Celacanto y los peces pulmonados, que son nuestros antepasados marinos más directos. Por enésima vez, estaba equivocado.

Es posible, a juzgar por las últimas revelaciones de los científicos cognitivos, que mis deficiencias en la predicción no se deban tanto a un rasgo diferencial propio como al hecho demostrado de que, en general, sabemos mucho menos de lo que creemos a la hora de vaticinar el futuro. Tras las investigaciones de científicos como Nassim Taleb, Daniel Kahneman y Amos Tversky, quedan pocas dudas sobre el mediocre resultado de los intentos del homínido moderno para predecir su porvenir.

Se puede alegar que una cosa es el genoma y otra la conciencia o la inteligencia superior que, supuestamente, es inherente a los humanos. En este capítulo, tres grandes científicos especialistas en la cultura animal, John Bonner, de la Universidad de Princeton, Jordi Sabater Pi del Zoo de Barcelona y Nicholas Macintosh, de la Universidad de Cambridge, desdeñan las diferencias existentes, a ojos de mucha gente, entre los animales y nosotros. Además, argumentan que los humanos y los demás animales comparten ciertas estructuras características de la inteligencia superior.

El paleontólogo francés Yves Coppens me explicó el porqué de tanto desatino predictivo hace años, en la bella sala de juntas de l´Académie des Sciences de París. Existen dos categorías de paleontólogos muy diferenciadas. En el primer grupo figuran los grandes académicos versados, fundamentalmente, en la comprensión pública de la ciencia; a través de las ideas — más que de los hallazgos fósiles— han hecho entender a la humanidad la perspectiva del tiempo geológico. Aportaron una nueva dimensión del mismo modo que los pintores que descubrieron los secretos de la perspectiva en el siglo XV*. Nuestro lugar en la evolución y la visión del Universo cambiaron radicalmente gracias a unos y otros. A este grupo pertenecen paleontólogos como Stephen Jay Gould, cuyas disertaciones sobre los primeros organismos multicelulares descubiertos en la cantera de Burguess Shale han recreado —con la belleza y los misterios infinitos de aquella explosión de nuevas especies— los primeros pasos de nuestros antepasados directos, los artrópodos de hace quinientos millones de años.*

Yves Coppens, en cambio, pertenece al segundo grupo. Son paleontólogos cuya vida ha transcurrido, en gran parte, con las manos en la masa, excavando fósiles. A Coppens corresponde el mérito de haber descubierto, junto a Maurice Taïeb y un colega americano, Donald Johanson, el primer esqueleto completo, llamado Lucy, la primera homínido de hace dos millones trescientos mil años. Frágil, menuda y con una capacidad craneal de sólo un tercio de la de sus descendientes, Lucy era ya un homínido de pies a cabeza.

«Invariablemente —empezó Coppens con su voz pausada— siempre se repite la misma secuencia. En las excavaciones encontramos primero un cambio biológico producido por una mutación desconocida, y poco después aparece el cambio técnico correspondiente al cambio biológico. Mejora ostensiblemente, por ejemplo, la forma de las herramientas. Pero luego pueden transcurrir centenares o miles de años antes de que aparezca el cambio cultural que arranca de aquel cambio biológico.»

El cambio cultural es de una morosidad casi genética. La frustración que produce este retraso hace que cuestionemos el hecho de que el cambio cultural causado por las variaciones genéticas o los adelantos técnicos era

inevitable. En realidad, lo único que ocurre es que la perspectiva del tiempo geológico es la propia de los cambios culturales. Los esquemas de organización social y política, la elaboración de contenidos trascendentes o, simplemente, la construcción de nuevos paradigmas de conocimiento siguen un proceso mucho más lento que los cambios técnicos o institucionales. El descubrimiento biológico de la estructura de la molécula del ADN acabará transformando nuestra relación con el resto de animales, aunque todavía no sabemos cuándo.

John Bonner, profesor emérito de biología evolutiva de la Universidad de Princeton, es un gran conocedor de las similitudes de los humanos con otros animales. De hecho, sus estudios se centran en las amebas sociales, uno de los primeros organismos multicelulares de los que podemos aprender mucho.

EDUARDO PUNSET. Hace cuarenta años que impartes clases en este aula. ¿Alguna vez has explicado a los estudiantes la diferencia entre la inteligencia humana y la inteligencia de las amebas sociales, esos minúsculos organismos vivos que has estudiado durante tantos años?

JOHN BONNER. A decir verdad, nunca he explicado esta diferencia en clase, pero ahora quisiera que mis alumnos estuvieran aquí para escucharme. Me he formulado esta pregunta muchas veces porque me interesa la inteligencia de todos los animales, desde la ameba a los seres humanos, y trabajo con amebas sociales desde que me dedico a la biología. La gente da por supuesto que por el mero hecho de ser amebas son estúpidas, pero en realidad no es cierto, pueden ser muy listas. En primer lugar, las amebas no aparecen de forma separada, sino en grupos, formando una bolsa de amebas, que tiene un límite delantero y un límite trasero. Las amebas pueden migrar en el espacio unos pocos centímetros, y es extraordinario porque se dirigen hacia la luz con una exactitud increíble: son capaces de dirigirse hacia una fuente de luz muy débil, un poquito de luz basta para atraerlas. Hace años descubrimos que se mueven por gradientes de calor con diferencias increíblemente pequeñas, de manera que son extremadamente sensibles al calor. Por tanto, mi impresión es que

realizan cosas inteligentes, pero sólo en un escenario social. En otras palabras, como amebas separadas no son capaces de hacer nada de esto, pero cuando se reúnen cien mil o quizás un millón de amebas para formar una cosa que tiene más o menos un milímetro de largo, entonces pueden ser muy listas y adaptarse a las señales ambientales.

E.P. ¡Es increíble! Unidas son infinitamente más inteligentes que por separado.

J.B. Sí, es cierto. Y es muy interesante cómo lo hacen: en el caso de la luz, por ejemplo, las amebas son translúcidas, de manera que la luz se propaga a través de ellas, pero como son cilíndricas forman una lente y concentran la luz en la parte posterior, creando un gradiente. Para compensar este gradiente, la parte anterior, que es la que recibe la luz pero la transmite hacia la parte posterior, se mueve más deprisa. Es decir que se dirigen hacia la luz, pero sólo porque la luz se concentra en su parte posterior cuando forman las bolsas. El movimiento en búsqueda de la luz se produce, pues, porque despliegan esta capacidad social. Una sola ameba no podría hacerlo, pero en masa pueden conseguirlo.

E.P. ¿Crees que en los seres humanos se da la misma regla? ¿Crees que somos más inteligentes colectivamente que como individuos?

J.B. Creo que sí, aunque es poco científico hacer afirmaciones tan simples. La cuestión es que los cerebros grandes funcionan mejor que los pequeños. Es decir que en algunos aspectos, es una situación análoga. Mucha gente dice que yo trabajo con mohos mucosos porque puedo manipularlos a mi antojo y les da igual, de hecho casi parece gustarles.

E.P. ¿Es verdad?

J.B. No podemos decir que una bolsa de amebas disfrute, pero a mí me parece que sí.

E.P. ¿No se mueren? Quiero decir si tienen capacidad de regeneración.

J.B. Sin duda. Si partimos en dos una de esas salchichas de las que hablaba antes, que miden aproximadamente un milímetro de longitud, cada mitad producirá un moho mucoso normal.

E.P. En esto, al menos, las amebas sociales son más inteligentes que nosotros. Se ha dicho que una de las mayores ventajas comparativas de los humanos respecto a los animales fue, en un momento determinado de la evolución, la capacidad de adivinar lo que el cerebro de otra persona pensaba. Por tanto, adivinar el pensamiento de otra persona implica predecir, en parte, su reacción, y poder prepararse para defenderse, ayudar al otro o manipularlo. ¿Crees que es verdad? ¿Es aplicable a los animales?

J.B. Yo diría que es verdad y que funciona igual en los animales. Creo que dos perros —yo he tenido perros— saben perfectamente qué piensa el otro por su manera de actuar y pueden prever su comportamiento. A mi juicio, la inteligencia, tanto humana como animal, debe considerarse siempre en un contexto social. La inteligencia humana no es aislada, sino que es fruto de la comunicación y el diálogo con otras personas, y creo que el caso de los animales es idéntico.

E.P. ¿Cómo definirías un comportamiento inteligente? ¿Cuándo se es capaz de engañar a otro o de comunicarse? ¿Cómo se puede determinar si un comportamiento es un subproducto de la inteligencia?

J.B. Quisiera decir un par de cosas antes de responderte. La primera es que no soy muy partidario de las definiciones, porque suponen imponer límites estrictos y no todo puede encerrarse en una definición. Creo —y este pensamiento enlaza con el anterior— que toda inteligencia, sea animal o humana, es un continuo: existen animales con capacidades e inteligencia muy limitadas, y progresivamente, existen cerebros más complicados, hasta los que están adaptados para pensar y hacer cosas complejas, como el nuestro. Por tanto, abogo por la idea de continuidad, de ahí la dificultad de definir la inteligencia.

E.P. Entonces, sugieres que la inteligencia es una cuestión de grado y no sostienes, como tantos, que nosotros somos inteligentes y el resto de animales no.

J.B. Exacto, y aplico el mismo argumento a la conciencia. Un viejo amigo mío, el biólogo Donald Griffin, ha reformulado la gran pregunta de si sólo los seres humanos son conscientes preguntándose «¿cómo sabemos que los animales no son concientes de sus actos?». Ha

aportado muchos ejemplos que invitan a preguntarse si los animales tienen algún tipo de conciencia de sí mismos, aunque sea diferente de la nuestra.

E.P. Conciencia de sí mismos y capacidad de pensar cómo actúan los demás…

J.B. Los animales comprenden su propio comportamiento: son conscientes de su comportamiento o de que tienen un comportamiento. No me preguntes, como antes con la inteligencia, qué es la conciencia, porque todavía es más difícil de definir. Estoy convencido de que también se da un continuo en la conciencia de los animales.

E.P. Entonces no puedo preguntarte qué diferencias existen entre la cultura —una palabra todavía más ambigua— de los animales y los seres humanos. ¿La cultura también es un continuo?

J.B. Me parece una pregunta interesante, porque defino la cultura como un continuo, pero se puede definir la cultura de manera que sea exclusiva de los seres humanos, como hacen muchos antropólogos. Por otra parte, si definimos la cultura como la transmisión de información de un individuo a otro por medio del comportamiento o el diálogo, entonces se trata de una definición muy sencilla, aplicable tanto a los animales inferiores como a los seres humanos. Pero esta definición enfurece a los antropólogos culturales, porque creen que la cultura es un término de su propiedad que los biólogos como yo no tienen derecho a cuestionar. Ellos definen la cultura en términos de civilización y otros conceptos que se refieren exclusivamente a los seres humanos.

E.P. En tus fascinantes escritos, citas modelos de la naturaleza, formas con cierta predictibilidad u orden y volúmenes relacionados con la fuerza, que progresan de maneras diferentes. Casi sugieres que estas constricciones físicas determinan el tamaño del animal, su cultura o su comportamiento.

J.B. Has usado la palabra precisa: constricción. El tamaño, por ejemplo, es muy importante porque el peso aumenta como su cubo y, por tanto, el tamaño está en función del peso. En el caso de la fuerza, la función es al cuadrado. Si se observan las patas de un elefante y se comparan con

las de una gacela o un alce, las patas del elefante son muy gruesas, como comprendió y explicó Galileo: es natural que las patas de un animal tan grande como un elefante sean gruesas, porque de otro modo no podrían sostener el cuerpo. Pero yo no diría que éstas sean las fuerzas que ponen límites. Si se piensa en la embriología y el desarrollo, el embrión de un elefante puede prever cuán grande llegará a ser y empieza a formar patas gruesas. Pero no está determinado en el modelo, es más bien al revés: el animal será grande y necesita un plan de desarrollo que asegure que estará bien proporcionado. Pero aun así, es correcto lo que has dicho al principio: el elefante no puede rehuir las constricciones de su gran tamaño, pero las constricciones no son el principio formativo.

E.P. Quisiera formularte otra pregunta que me intriga. ¿Es correcto decir que todos los animales tienen, más o menos, el mismo potencial cerebral y que la única diferencia es que aplican dicho potencial de manera diferente? Por ejemplo, un delfín que vive en el agua utiliza las ondas de sonido para comunicarse con otros delfines, porque las ondas de sonido se transmiten muy fácilmente en el agua. Y un canguro, un león o un ser humano aplican el mismo potencial a las ondas visuales, porque van mejor en la tierra. Y un murciélago recurre al sonar en el aire. Muchos biólogos, como Jordi Sabater Pi, por ejemplo, sostienen que no es que los animales sean menos inteligentes, sino que concentran su inteligencia en un campo en el que los seres humanos nos sentimos perdidos.

J.B. Creo que es absolutamente cierto. En tus ejemplos te referías a los medios de comunicación. Un delfín emite sonidos como nosotros, pero los del delfín son especialmente efectivos para viajar por el agua. Siempre me ha fascinado el descubrimiento de que los elefantes emiten sonidos de frecuencia tan baja que los humanos no podemos oírlos. Pero es una cuestión de comunicación que no refleja verdaderamente la inteligencia. Es cierto que sin la capacidad de comunicarse y expresarse ningún animal podría ser inteligente, pero la inteligencia radica en la capacidad de comunicación, no tanto en el medio.

E.P. Es la sociabilidad de las amebas, ¿verdad?

J.B. Exacto. Se ha demostrado que los delfines poseen una existencia social muy compleja, mientras que…

E.P. Y una vida familiar muy rica…

J.B. Es extraordinario que los delfines machos vayan en grupos de tres, para subyugar a la hembra de manera más efectiva, por medio del trabajo en equipo. Su vida social es sumamente compleja.

E.P. Quisiera profundizar en una idea que has defendido mucho a lo largo de tu reconocida carrera como biólogo. Argumentas que un organismo no se refleja en una instantánea fotográfica —no es ni adulto ni niño—, sino que es un ciclo vital. ¿Qué quieres decir exactamente?

J.B. Te explicaré cómo llegué a esta idea. Cuando estudiaba en la universidad, asistí a un curso de lógica, aunque no me gustaba mucho. En una de las primeras clases, el profesor señaló que el uso de la palabra o del nombre de una persona nos recuerdan esa persona en un instante preciso de su vida, pero es una ficción, porque un embrión ya es esa persona. Por tanto, es incorrecto aislar un único período de tiempo, aunque resulta muy práctico. Somos un ciclo de vida y no sólo una imagen instantánea…

E.P. O una fantasía de la imaginación.

J.B. Que no responde en absoluto a lo que somos verdaderamente. La vida de un perro, o de cualquier otro animal, abarca desde el óvulo hasta que muere.

E.P. Desde una perspectiva práctica, ¿qué diferencia existe entre concebir la vida como la instantánea de un lapso de tiempo e imaginar el ciclo del curso de la vida completo?

J.B. Creo que la gran diferencia es que si pensamos en un ser humano como ciclo vital, entonces tenemos en cuenta su desarrollo, su crecimiento desde la fase celular primera —en que las células se dividen y forman la espina dorsal y la médula espinal— hasta la infancia, la adolescencia inmadura y su culminación en una persona madura. A mi juicio, deberíamos considerar los seres humanos en su conjunto.

E.P. Es muy sorprendente que los seres humanos dejen de crecer corporalmente en un momento determinado de su ciclo de la vida, mientras que los peces, las tortugas y muchas otras especies crecen hasta que mueren. ¿Es una maldición o es una ventaja? ¿Por qué existe esta diferencia?

J.B. No puedo decirte si es bueno o malo, pero ciertamente existe esta gran diferencia entre los mamíferos… aunque creo que los elefantes continúan creciendo, es decir, que no basta con decir los mamíferos, pero la diferencia incluye a los seres humanos. La diferencia que señalas está relacionada con la manera de crecer: hacia los veinte años, nuestros huesos largos se sellan y dejamos de crecer, a no ser que se sufra una enfermedad de la pituitaria. Es muy interesante indagar por qué, ya que es fruto de la selección natural de Darwin. Existió alguna razón por la cual los seres humanos y sus antecesores, como muchos mamíferos, entendieron que detener su crecimiento les aportaba ventajas. Yo creo que se intentó conservar a lo largo de la vida la altura ideal para desplazarse, escapar de los animales de presa o cazar, que está relacionado con las limitaciones del tamaño. Pero ¿por qué un elefante sigue creciendo? Quizá porque una vez es tan grande y pesado ya da igual ser un poco más grande o más pequeño.

E.P. Volvamos a la cuestión de la inteligencia y la diferencia, si existe, entre los animales y los seres humanos. Es indiscutible que los animales no cultivan el arte y el pensamiento estético, ¿verdad? ¿Cómo apareció el pensamiento artístico?

J.B. Es una cuestión que me ha fascinado siempre. Actualmente, o en este último siglo, se ha desterrado el sentido de la belleza de la vida animal, como si fuera estrictamente humano. Pero en el siglo XIX, los victorianos elogiaban la belleza del plumaje de un animal o sus colores, porque admiraban su sentido artístico. Poco a poco, estas ideas fueron objeto de burlas y se volvieron muy impopulares. En el siglo XX, volviendo a los pájaros, se observó que las aves del paraíso macho poseían un plumaje bellísimo y muy complejo que usaba en el cortejo para atraer a la hembra. Otra ave muy parecida, llamada cuervo de

Nueva Caledonia, de aspecto muy vulgar, los machos construían una estructura muy elaborada adornada con frutas del bosque y conchas de colores para aparejarse…

E.P. Como una alcoba nupcial…

J.B. Exacto. De hecho, el nombre del pájaro en inglés, «bower», es una palabra victoriana que significa estancia del amor. Se cree que cuando se separaron las dos especies en el curso de la evolución, un grupo de aves conservó los colores brillantes, que implican ciertas desventajas, porque los machos de colores muy vívidos son una presa fácil. En contraste, los cuervos de Nueva Caledonia no corren este riesgo, porque sólo la cámara nupcial, y no el ave, es muy colorista. Volviendo a nuestra discusión de antes, soy partidario de la idea de continuidad, de modo que creo que las aves poseen cierto sentido artístico. Puede que sea muy diferente del nuestro, pero también es muy posible que los humanos conservemos partes del cerebro de las aves que son sensibles al arte. Siempre me ha fascinado que los gorilas y chimpancés dibujen si se les da una hoja de papel y un lápiz o una brocha. De todos modos, no creo que ésta sea la respuesta a la pregunta de si los animales poseen sentido artístico. Sin embargo, creo que las aves y los animales hacen cosas que, a su manera, se parecen a nuestro concepto de arte.

E.P. Y en los seres humanos, ¿el arte tiene el mismo origen? En las aves fue la selección sexual la que canalizó la capacidad artística…

J.B. Es una pregunta muy interesante. En muchas tribus, la ornamentación del cuerpo —tatuajes, cicatrices, etc.— está ligada a la selección sexual, aunque no es genético, claro está, sino que persigue un propósito inteligente. Es muy sorprendente que precisamente en el período cromañón se realizaron pinturas rupestres bellísimas que no tenían nada que ver, aparentemente, con la selección sexual, sino que se cree que expresan la religiosidad cósmica. A decir verdad, el hombre primitivo poseía una gran capacidad artística.

Es una cuestión de grado

Jordi Sabater Pi

«Habrá un momento en que cambiará nuestra actitud, pero ya no quedarán animales en la Naturaleza».

Jordi Sabater Pi siempre ha evitado caer en la trampa de los que creen que los animales deben imitar nuestra propia línea evolutiva para progresar en la suya.

«Son distintos y no tiene ningún sentido enseñarles a barrer», murmura mientras contempla los chimpancés y los gorilas que ha cuidado desde su juventud en África y en el Zoo de Barcelona.

Sabater Pi es uno de los padres de la etología y la primatología en España, y uno de los pioneros mundiales en trabajos de campo con chimpancés y gorilas. Vivió treinta años en África y sus trabajos, diseminados en libros de divulgación y artículos, y sus preciosos dibujos, muestran el perfil de un gran naturalista.

EDUARDO PUNSET. Los gorilas tienen mala prensa, ¿verdad?

JORDI SABATER PI. Muy mala prensa, y viene de lejos, del siglo pasado, de un explorador francoamericano llamado Paul Du Chaillu, que exageró la ferocidad de estos animales pacíficos y tranquilos.

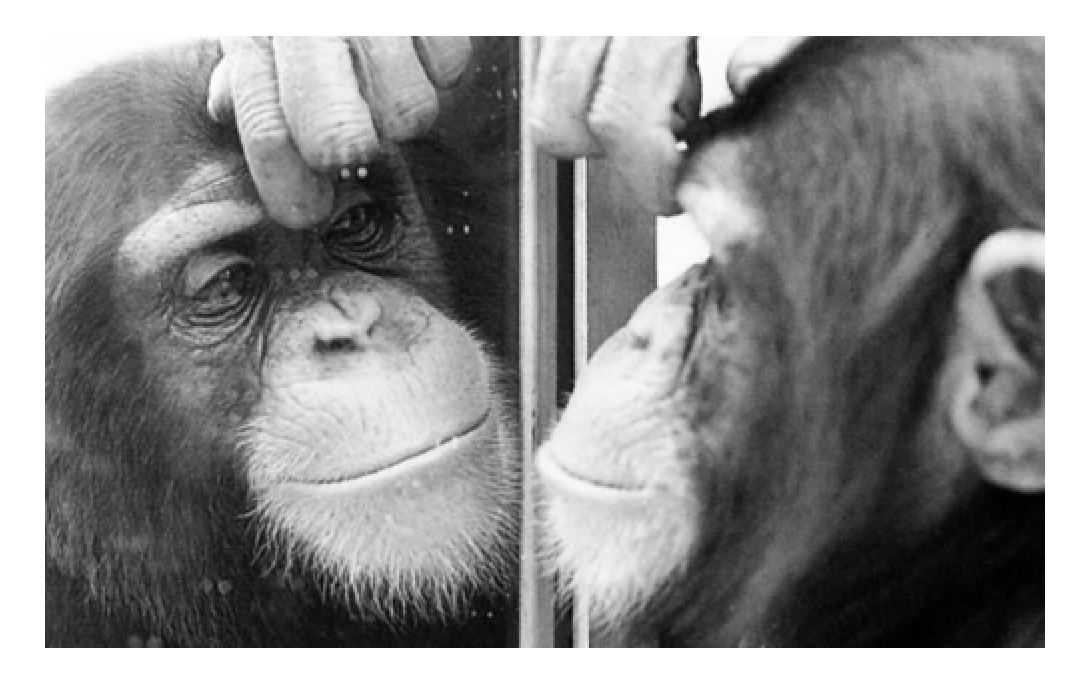
E.P. Es curioso que desde que hemos llegado a su recinto, el chimpancé ha intentado aplaudir varias veces y llamar nuestra atención, como si quisiera comunicarse…

J.S.P. Él intenta comunicarse, aunque no sabe cómo hacerlo y nosotros…

E.P. Menos.

J.S.P. Menos todavía. El chimpancé hace gestos inteligibles, pero nosotros casi no sabemos hacer nada…

E.P. Se nos ha dicho, desde muy niños, que somos totalmente diferentes de los animales. Y uno de los grandes argumentos era que los animales, a diferencia de los humanos, no saben hablar. ¿Cómo respondes a este prejuicio, Jordi?



Un chimpancé mirándose en el espejo. El chimpancé es el único animal, además del hombre, que se reconoce a sí mismo.

J.S.P. Se dice constantemente y no es verdad. Se ha creado una barrera, un foso inmenso casi infranqueable. Es cierto que los animales no saben hablar, naturalmente, pero tienen un sistema de comunicación complejo. En condiciones de cautividad pueden utilizar hasta quinientas palabras distintas.

E.P. ¿Entre ellos?

J.S.P. Con nosotros. Entre ellos no lo sabemos, porque intentamos que aprendan nuestro lenguaje, aunque nosotros no conozcamos su comunicación, es decir que existe, en ese sentido, mucha desigualdad. En situaciones experimentales podemos enseñar a los chimpancés quinientas palabras, y consiguen utilizar pronombres personales. Y tienen conciencia de su propio esquema…

E.P. Éste es otro argumento, decir que somos diferentes de los animales porque no tienen conciencia propia.

J.S.P. Sí tienen conciencia, tienen un esquema de su propio ser. Saben que son distintos de los otros.

E.P. Además, el chimpancé se reconoce en el espejo, ¿verdad?

J.S.P. Se reconocen ante el espejo, y ahí aparece incluso la noción del yo: yo soy yo y tú eres tú, y somos dos seres diferentes. Hasta hace muy poco tiempo se desconocía completamente, y es muy importante, porque quiere decir que en el proceso de evolución cerebral se ha completado un paso trascendente, el reconocimiento del propio ser. Por ejemplo, el chimpancé es consciente de la muerte y la desaparición. Cuando desaparece un chimpancé, los otros están tristísimos. Cuando una madre pierde a su hijo, entra en un estado de depresión que puede durar meses.

E.P. Te contaré una cosa que es muy difícil no definir como esquema de inteligencia superior compartido, en el sentido de Nicholas Mackintosh. He leído que en África, cuando llega la estación seca y no hay agua, los chimpancés han aprendido a no beber de los charcos de agua putrefacta para evitar enfermedades infecciosas, y excavan y perforan pozos para beber agua limpia.

J.S.P. Sí, nosotros lo hemos experimentado en un estudio en Senegal, en la región semidesértica de Niokolo-Koba, una sabana muy árida. A los chimpancés no se les ocurre beber agua encharcada medio putrefacta, sino que excavan pozos y beben agua fresca.

E.P. Y esta experiencia adquirida, o esta innovación conquistada, ¿cómo se transmite a los demás?

J.S.P. Se transmite culturalmente: los jóvenes y los otros chimpancés lo observan, lo aprenden y comienza a formar parte de su acerbo cultural.

E.P. En lugar de convertir a los animales en un espectáculo de los zoológicos, ¿no se ha intentado enseñarles algo?¿No podrían aprender a barrer, por ejemplo?

J.S.P. No tiene ningún sentido para ellos, porque no están hechos para estas cosas. Siguen una línea evolutiva de bosque, sabana, estepa, selva… Se dice que si obligáramos a los gorilas y los chimpancés a realizar actividades humanas, a largo plazo se transformarían en humanos…

Pero es un disparate querer humanizarlos, porque nunca serán humanos. Ellos han divergido, van en otro sentido y no tienen por qué barrer…

E.P. Fíjate en el chimpancé. Lleva mucho rato utilizando el palo, insertándolo en la roca con la esperanza de encontrar algo debajo…

J.S.P. Una recompensa.

E.P. ¿Una recompensa? Luego saca el palo y se lo introduce en la boca, ¿verdad?

J.S.P. Sí, hace treinta años se descubrió que los chimpancés fabrican herramientas simples, como palos de cierto tamaño, para obtener termitas. Si observas estas rocas, son una imitación de los termiteros de sabana, pero en lugar de poner termitas, se les pone un poco de miel. Este hallazgo demuestra que los chimpancés son capaces, culturalmente, de aprender a fabricar herramientas simples a partir de objetos naturales. Es una conducta cultural.

E.P. He leído en un escrito tuyo que crees que los humanos no sólo no somos muy diferentes de estos animales, sino que empezamos de manera muy parecida. Y decías, aunque parece una barbaridad, que anidábamos en los árboles igual que muchos animales.

J.S.P. Estoy convencido de que, hasta que no se descubrió el fuego, los humanos anidaban en los árboles, como hoy los chimpancés. ¿Por qué? Porque no tenían visión nocturna. La retina humana tiene poca precisión y no puede captar la luz crepuscular del mismo modo que las aves de presa nocturnas. Por tanto, los homínidos no podían dormir en el suelo porque temían ser devorados por los depredadores y se refugiaban en los árboles. Hace medio millón de años se descubrió el fuego y los homínidos se liberararon de la esclavitud —por llamarla de algún modo— de dormir en los nidos de los chimpancés en las copas de los árboles.

E.P. Y pensando en el futuro, ¿cómo prevés nuestra relación estrambótica con los animales?

J.S.P. A mí, la relación con los animales me parece trágica. Las inquietudes humanas tienen una raíz religiosa, porque se los considera servidores nuestros, y no es verdad. Los animales y las plantas son hermanos

nuestros, porque compartimos gran parte del ADN. El ADN humano es muy parecido al de las plantas y, especialmente, al de los mamíferos.

E.P. Sostienes que en un futuro cercano seremos juzgados por nuestro maltrato despiadado de los animales…

J.S.P. Las generaciones futuras nos juzgarán de la misma manera que nosotros juzgamos a los esclavistas de hace cien años. No se abolió la esclavitud en España hasta hace un siglo.

E.P. Y tú crees que llegará un día en que aboliremos…

J.S.P. Yo creo que la humanidad se encamina hacia la abolición del maltrato de los animales, pero cuando se legisle ya no quedarán animales en la naturaleza.

Compartimos estructuras inteligentes

NICHOLAS MACKINTOSH

«Una mayor complejidad no implica forzosamente más progreso.»

Si Jordi Sabater Pi es partidario de respetar la línea evolutiva de los animales —«en lugar de intentar enseñarles a barrer para nosotros»—, Nicholas Mackintosh sostiene que cada vez es más difícil diferenciar el proceso evolutivo humano y animal. Mackintosh ha osado demostrar que tanto en los procesos cognitivos animales como en los humanos se dan estructuras características de la llamada inteligencia superior que, a veces, compartimos claramente.

Nicholas Mackintosh es psicólogo experimental y recientemente se ha jubilado de la Universidad de Cambridge. Sus investigaciones sobre el aprendizaje asociativo han desvelado el proceso de aprendizaje de los animales, que no difiere mucho del nuestro.

EDUARDO PUNSET. Dices que los animales no son como máquinas, ya que su proceso de aprendizaje es muy sofisticado y está regido por unos principios que, en ocasiones, coinciden con los humanos.

NICHOLAS MACKINTOSH. Con los animales humanos.

E.P. Sí, con los animales humanos. ¿Quieres decir que estos principios son aplicables tanto a las palomas como a los seres humanos?

N.M. Sí, los principios que rigen el proceso de aprendizaje de las palomas son idénticos al de las ratas, los monos, los niños o los de ti o de mí. Se ha demostrado que estos principios son mucho más complejos de lo que creían los expertos en comportamiento de hace cincuenta o cien años. Esos principios permiten a los animales solucionar problemas muy complicados, comprender su mundo y predecir las consecuencias.

E.P. Y predecir qué sucederá, aunque de modo poco preciso, como los humanos.

N.M. Prever el futuro inmediato es una de las grandes obsesiones de la evolución.

E.P. Diferencias a los científicos que argumentan que los animales aprenden por instinto de los que sostienen que el aprendizaje es un proceso gradual. ¿De qué interpretación del compotamiento animal eres partidario?

N.M. Siguiendo los principios establecidos por John Watson y los expertos en comportamiento, creo que los animales nacen con escasos reflejos o instintos básicos, y poco a poco aprenden un comportamiento. Los niños nacen con menos relfejos e instintos básicos que los animales. Tradicionalmente se ha creído que el aprendizaje era muy simple, pero yo creo que es necesario comprender que el proceso de aprendizaje animal es mucho más complejo de lo que Watson y Skinner imaginaban.

E.P. ¿Qué se ha descubierto? ¿La importancia de la genética en el aprendizaje?

N.M. Sí, la genética es muy importante porque el proceso de aprendizaje está condicionado por la necesidad de solucionar ciertos problemas que faciliten la comprensión de la estructura del mundo, aunque no todos los sistemas de aprendizaje respondan a esta necesidad evolutiva. El sistema de aprendizaje de los mamíferos es muy reducido y se basa en ciertos principios y leyes.

E.P. Es genética pura, ¿verdad? La genética está muy presente en la forma en que la gente aprende y memoriza, ¿es así?

N.M. Sí, el proceso de aprendizaje social que enseña a los animales a predecir el futuro y a comprender su entorno es un proceso bastante universal y genéticamente reducido. Cuando los psicólogos se refieren a la raíz genética del comportamiento, en realidad hacen referencia a las diferencias innatas entre personas. Por tanto, cuando los psicólogos hablan de la genética de la inteligencia, intentan argumentar por qué existen personas más inteligentes, aparentemente, que otras.

E.P. Existe un viejo tabú de la investigación de la inteligencia. Se realizó un experimento con niños en edad escolar blancos, negros y orientales, y se conlcuyó que la inteligencia de los estudiantes orientales era superior a la de los blancos, y la de éstos superior a la de los negros. Como psicólogo, no has analizado nunca las diferencias, sino las características comunes. ¿Qué piensas de este estudio?

N.M. De entrada, es necesario decir que los procesos de aprendizaje y memorización varían mucho menos —entre las personas y los diferentes grupos étnicos— que otros procesos cognitivos medidos, como los tests de inteligencia o de coeficiente de inteligencia (IQ). Por tanto, existen más diferencias entre distintos coeficientes de inteligencia que entre los procesos de aprendizaje básicos. Y es cierto que si se realizan tests de coeficiente de inteligencia a diferentes grupos étnicos, generalmente, por lo menos en Estados Unidos, la mayoría de negros obtienen una puntuación inferior que los blancos, que a su vez obtienen una puntuación un poco más baja que los asiáticos. Pero si se realizan simples tests de aprendizaje, el resultado demuestra que los tres grupos aprenden de forma parecida.

E.P. Entonces, ¿existe la genética de la inteligencia?

N.M. Sí, por supuesto. A raíz de los diferentes resultados de los tests de inteligencia, se puede formular la pregunta de si la inteligencia está codificada genéticamente. Esta idea puede ser muy contestada, pero yo creo que la diferencia de resultados entre los blancos y los negros no es genética, aunque se ha demostrado que la diferencia entre los blancos y los asiáticos sí es genética. Esta diferencia no se refiere a todo el coeficiente de inteligencia, sino a unos parámetros muy particulares, que miden la habilidad de visualización espacial, de percibir formas en el espacio. Por ejemplo, las pruebas miden la percepción de una forma rotada o la identificación de un objeto desde muchas perspectivas diferentes. En estas pruebas, los asiáticos del Este obtienen unas puntuaciones mucho más altas que los blancos, incluso si los niños asiáticos fueron adoptados por una familia blanca a los seis meses, sus resultados siguen siendo mejores que los de los niños blancos. Por tanto, es posible que exista una diferencia genética.

E.P. Decías antes que has extraído conclusiones muy interesantes de tus experimentos, como que los humanos somos seres muy geométricos.

N.M. Vivimos en un mundo geométrico, repleto de círculos, cuadrados y líneas…

E.P. Es curioso, pero siempre les digo a mis amigos arquitectos que vivimos en apartamentos modernos como los hombres primitivos en las cuevas. Cualquier apartamento de Nueva York, Londres u otra ciudad contemporánea posee formas muy geométricas, y casi con el mismo diseño que una cueva: tres paredes y una ventana…

N.M. Pero en Barcelona no, porque Gaudí no diseñó ni una sola línea recta.

E.P. Las ratas detestan la geometría, y se entristecen mucho si las encierras en un espacio geométrico.

N.M. Es cierto, pero aprenden casi de inmediato cómo es el espacio que habitan, especialmente si se les esconde comida en una esquina, entonces diferencian las formas del entorno.

E.P. Sostienes que no sólo aprenden qué forma tiene su entorno, sino que la «idea» de la geometría en que habitan se superpone a otras «ideas» más propias e innatas.

N.M. Es cierto, y es muy sorprendente. En realidad, todavía no se entiende por qué. Si se ponen ratas en una caja rectangular grande y se coloca la comida en una esquina de la caja, las ratas buscarán la comida en esa esquina, pero también en la esquina diametralmente opuesta, porque, en cierto modo, es una esquina equivalente. Si se indica la comida con una señal, las ratas la ignoran y siguen buscando la comida en las dos esquinas. Es decir que, aunque existe una pista que les dice en qué esquina está la comida, en realidad las ratas se rigen por la geometría.

E.P. Pero son flexibles, ¿verdad?

N.M. Sí, al final lo aprenden, porque no son estúpidas, pero es sorprendente la importancia que conceden a la geometría sobre otras señales. Y es extraño porque el entorno natural de las ratas no es especialmente geométrico.

E.P. Nicholas, a raíz de tus reflexiones sobre la inteligencia y el proceso de aprendizaje de los animales, se me ha ocurrido que yo, que doy clases en la universidad, casi no sé nada sobre el proceso de aprendizaje de

los humanos, de mis propios estudiantes. Me pregunto si se ha investigado más el proceso de aprendizaje de los animales que de los humanos.

N.M. Es cierto. Yo mismo soy psicólogo, pero especializado en el aprendizaje de los animales. Sin embargo, creo que los psicólogos educacionales no han indagado tanto en el proceso educativo de los seres humanos como los científicos centrados en la investigación del aprendizaje de los animales, basado en principios muy básicos.

E.P. Quizá se deba a que es infinitamente más fácil experimentar con animales que con seres humanos, ¿verdad? ¿O es una cuestión de influencia ideológica, de prejuicios teóricos?

N.M. Creo que gran parte de la psicología está demasiado influenciada por la moda, y la moda determina cómo enseñar a los niños a aprender, a leer y escribir, a solucionar problemas matemáticos… La educación está en manos de la moda, de ahí el descrédito de los psicólogos educacionales.

E.P. Es una cuestión muy compleja. Volviendo al comportamiento de los animales, me parece extraordinario que las palomas utilicen el Sol como brújula. Pero los psicólogos experimentales sostenéis que usar el Sol como brújula no basta para encontrar el camino de regreso. ¿Qué quiere decir exactamente que no basta? Porque sucede lo mismo con las abejas.

N.M. Las palomas utilizan la dirección del Sol para sincronizar su reloj interno y poder dirigirse hacia el norte, el sur, el este o el oeste. Imagina que te vendo los ojos, te llevo a setenta kilómetros de distancia y entonces te doy una brújula. ¿Cómo encontrarás el camino de vuelta a Barcelona, si no sabes en qué dirección está? Si sabes que está hacia el sur, la brújula te ayudará a encontrar el sur, pero si desconoces en qué dirección está Barcelona, no sabrás volver aunque tengas una brújula. En cambio, si se lleva a una paloma a ciento treinta kilómetres del entorno en que vive, a un lugar en el que no ha estado nunca y se la libera, al cabo de dos o tres minutos volará en la dirección correcta para regresar. Se cree que esta capacidad está basada en la experiencia, en el entrenamiento, de ahí que las aves muy jóvenes

no sean capaces de volver, porque tienen una brújula, pero todavía no han trazado una cartografía. Cuando se ejercitan en vuelos cortos de entrenamiento, las palomas identifican el espacio que sobrevuelan. Por ejemplo, pueden oír el sonido de las olas al romper contra la orilla o el olor de una ciudad desde una distancia de ciento treinta kilómetros. De ahí que las palomas puedan encontrar el camino de vuelta, si previamente han realizado vuelos de entrenamiento. Por ejemplo, habrán aprendido que si un sonido particular de la orilla del mar es más fuerte, y está en el norte, si está más al norte y el sonido es todavía más fuerte, quiere decir que están más al norte todavía. Por tanto, para regresar a casa sólo tienen que dirigirse hacia el sur.

E.P. Entonces no me extraña que hayas escrito que es muy difícil demostrar que las formas de inteligencia más avanzadas sólo se encuentran en los animales superiores. ¿Qué quieres decir exactamente?

N.M. ¿Qué quiero decir? Simplemente que algunas formas de comportamiento inteligente se encuentran tanto en las aves como en los monos.

E.P. O en los seres humanos.

N.M. Sí, algunas formas de inteligencia abundan más entre los seres humanos, pero yo me refería a los animales no humanos. Con todo, algunas especies de aves como los cuervos, las urracas y los loros, pueden resolver problemas muy complicados, que exceden la capacidad de muchos primates simples y otros mamíferos. Es decir que algunas formas de razonar, la capacidad de establecer relaciones entre los acontecimientos y la comprensión de analogías son formas de aprendizaje características de algunos primates, particularmente de los monos, pero también de algunas aves, aunque no de las ratas, por ejemplo. La paloma, como muchas aves, tiene una gran capacidad para orientarse a través de largas distancias, pero es una capacidad tan especializada que se tiende a pensar que no forma parte de la inteligencia. Muchos animales tienen la habilidad de navegar por el mundo. Así, una hormiga puede salir del hormiguero avanzando en

forma de zig-zag encontrar un poco de comida y regresar en línea recta, es decir que aunque en la ida ha seguido un largo camino en zig-zag, conoce el camino recto.

E.P. Imagino que coincides con la idea de Stephen Jay Gould de que los humanos «no nos estamos dirigiendo hacia algo cada vez mayor y mejor»…

N.M. Sí, no existe ningún propósito de progreso en la evolución.

E.P. ¿Qué te parece esta idea tras tantos años investigando la evolución?

N.M. Hasta cierto punto, estoy de acuerdo con Gould. Creo que es incorrecto mantener que la evolución es un progreso continuo que culmina en el ser humano. Es una concepción anacrónica y antropocéntrica que yo he intentado refutar siempre argumentando que la inteligencia superior no es exclusiva de los animales estrechamente emparentados con los seres humanos, sino que se encuentra en animales muy distantes, como las palomas y los cuervos. En este sentido, la evolución no significa progreso, o no está necesariamente relacionada con el progreso. Es indiscutible que la evolución ha desarrollado una mayor complejidad. Generalmente, la evolución no conlleva una menor complejidad con el transcurso del tiempo, aunque existen ejemplos de la degradación de animales que habitaban en cuevas o bajo tierra y perdieron la vista. Es decir que la evolución produce cambios y entraña una mayor complejidad, porque la competición hizo que la complejidad fuera necesaria para resolver los problemas. Pero una mayor complejidad no implica forzosamente más progreso.

Capítulo XII

Lo que viene I:

la biología de la inmortalidad

Tom Kirkwood

Douglas Wallace

Eliane Gluckman

Piero Anversa

Bernardo Nadal-Ginard

Miroslav Radman

Tom Kirkwood, gerontólogo de la Universidad de Manchester. En sus revolucionarios estudios nos cuenta que nuestro cuerpo no está programado para morir, sino para sobrevivir. El envejecimiento no es más que una acumulación de daños, a nivel molecular, y es el estrés celular el que marca los límites de la longevidad.

Douglas Wallace lidera un grupo de investigación en la Universidad de Emory, en Atlanta, donde investigan el papel de las mitocondrias en la herencia genética, en los orígenes de la especie humana y en enfermedades degenerativas.

Piero Anversadirige el Instituto de Investigaciones Cardiovasculares en el Colegio Médico de Nueva York. Este experto en la investigación del infarto y la insuficiencia cardiaca, fue uno de los primeros en observar que el corazón conserva cierta capacidad de regeneración, incluso a edad avanzada.

Eliane Gluckman fue pionera en el trasplante de células madre procedentes del cordón umbilical, comparables a las de las procedentes de la médula ósea. Esta hematóloga dirige el departamento de Hematología y Transplantes de Médula Ósea del Hospital de San Luis de París.

Miroslav Radman, profesor de Biología Celular de la Universidad de París y director del departamento de Genética Molecular, Evolutiva y Médica del Instituto Nacional de la Sanidad en Francia. Sus investigaciones se centran en los mecanismos moleculares de reparación del ADN, y el papel que éstos juegan en la aparición de cáncer y en la evolución de las especies.

Antienvejecimiento (I)

TOM KIRKWOOD

«No estamos programados para morir.»

Nuestra cultura es la del desaprendizaje. El río del conocimiento se ha agrandado siempre mediante afluentes que aumentan el caudal disponible. Como en la naturaleza, la evaporación relega al olvido a ciertos conocimientos y aligera el saber disponible para poder sobrevivir. Pero la cultura siempre ha sido la suma de valores añadidos: a las viejas religiones se superponen nuevos sectarismos, al conocimiento genético más remoto se suman mutaciones millonarias y, especialmente a partir del siglo XVI, el conocimiento adquirido generación tras generación rebosa en el cerebro planetario, las bibliotecas y los ordenadores.

A partir de ahora, y durante unos cuantos siglos, la metáfora de los procesos del conocimiento se representará no tanto por un río que va a la mar, sino por un salmón terco que remonta hacia los orígenes. Vivimos un cambio educativo revolucionario en que la trama de los nuevos conocimientos lo dictan los procesos masivos de desaprendizaje. Seremos, más que nuestros conocimienots, nuestra capacidad de desaprender.

El desaprendizaje se aplica a todas las ramas del saber, incluido el conocimiento científico. La única diferencia entre la ciencia y las demás disciplinas de conocimiento es que la razón de ser del conocimiento científico es, precisamente, el desaprendizaje por la vía de la experimentación y la prueba. En pocas disciplinas de conocimiento es tan palpable como en la biología de la inmortalidad, el tema que trata este capítulo. Es necesario refutar mitos muy arraigados para adentrarse en los procesos de antienvejecimiento y regeneración de los tejidos.

El primer gran mito es la certeza humana de que estamos programados para morir. La salud física y mental exige, antes que nada, erradicar esta falacia, arraigada incluso entre la comunidad científica que investiga el antienvejecimiento. Todavía existen demasiados científicos que intentan encontrar el reloj interno que modula el envejecimiento.

Tom Kirkwood ejerce de gerontólogo en la Universidad de Newcastle, en Gran Bretaña. Es uno de los mayores expertos en la genética y la evolución del envejecimiento, y uno de los más firmes opositores a la teoría de una muerte programada. Sostiene que el envejecimiento es, de hecho, fruto de la acumulación de daños en las células y los tejidos a lo largo de la vida.

TOM KIRKWOOD. Se ha discutido mucho sobre el reloj que mide el tiempo de vida y destruye la vida cuando se agota, pero uno de los grandes avances en el entendimiento del envejecimiento ha sido el hallazgo de que, en realidad, no existe ningún programa para morir. Es extraordinario que el conocimiento heredado se encamine hacia la supervivencia, es decir justo lo contrario de lo que sucede en la práctica, la muerte que cierra toda vida. Si se examina el cuerpo de una persona agónica, se observa que todas sus células y órganos intentan que el cuerpo siga vivo. El programa que rige la vida no se rinde nunca ante la muerte.

EDUARDO PUNSET. Puede ser que una vez ha muerto el cuerpo, ciertas células sigan luchando para mantenerse vivas.

T.K. Es cierto, porque el mensaje de la muerte tarda en extenderse por todo el cuerpo, de manera que durante minutos u horas tras la muerte del cuerpo todavía quedan células vivas. Se ha demostrado que si se extrae un órgano del cuerpo de una persona que acaba de morir para transplantarlo, el órgano sigue vivo unas horas. El corazón o el riñón siguen vivos, aunque el cuerpo sea un cadáver, pero pueden sobrevivir si se les introduce en un cuerpo vivo. Por tanto, las células de los órganos luchan por su supervivencia en un cuerpo muerto. Es muy importante tenerlo en cuenta para comprender el proceso de envejecimiento, para no confundirnos de entrada buscando un

programa que lleva a la muerte que, en realidad, no existe. Nuestros genes determinan, en parte, nuestra vida, y una de sus funciones es asegurar la supervivencia. El cuerpo envejece y muere aunque esté programado maravillosamente para la supervivencia, porque no puede sobrevivir indefinidamente.

E.P. Desaprendiendo mitos, por tanto, no existe ningún límite biológico de la vida.

T.K. La idea de que existe un límite biológico para la vida es una gran falacia. Es cierto que, a medida que se envejece, cada vez es más difícil sobrevivir mucho más tiempo. Pero es como el récord mundial de atletismo de mil quinientos metros: no existe un tiempo absoluto que sea insuperable. Durante mucho tiempo nadie había conseguido correr una milla en cuatro minutos, y en la década de 1950 se consiguió. Pero como los récords son cada vez más ajustados, cada vez es más difícil batirlos, aunque eso no significa que exista un límite absoluto. Y, de alguna manera, la ausencia de límite absoluto en la duración de la vida está relacionada con la ausencia de un programa. A medida que comprendamos el proceso de envejecimiento llegaremos a la vejez en mejores condiciones que las generaciones anteriores. Parece ser que ha aumentado ligeramanete la capacidad del cuerpo humano para sobrevivir. El récord mundial de longevidad humana es de ciento veintidós años y cinco meses. Se tardará unos años en batirlo, ya que nadie se está aproximando a esa edad, pero, tarde o temprano, se batirá.

E.P. Has sugerido otro concepto equivocado pero muy arraigado. Creo que no es cierto que haya aumentado tanto la longevidad, sino la esperanza de vida, porque mueren menos niños que antes, ¿verdad? En otras palabras, es la mortalidad infantil la que ha disminuido mucho…

T.K. Es cierto. Hace cien años, incluso en los países más ricos del mundo, la esperanza de vida era muy baja, porque existía una gran mortalidad infantil —muchos niños morían antes de los dos, tres o cuatro años— y muchas enfermedades infecciosas. Por tanto, si se calcula la esperanza de vida media entre un niño que muere a los cuatro años y un anciano que fallece a los ochenta y cuatro años, se obtiene un

promedio de cuarenta y cuatro años. Afortunadamente, hoy se ha erradicado mucho la mortalidad infantil en Occidente. Es extraordinario y deberíamos celebrarlo porque es fruto de un arduo esfuerzo humano.

E.P. Con todo, somos una especie que no puede evitar la muerte. Envejecemos y las arrugas delatan la cercanía de la muerte. ¿Por qué parece que ciertas especies no mueran o sean inmortales, mientras que otras envejecen más deprisa? ¿Por qué existe tanta diferencia?

T.K. El tiempo de vida de la especie humana es, como máximo, de cien años, mientras que el ratón vive tres años, el perro quince y el gato veinticinco. Investigar el porqué de estas diferencias es un reto científico muy interesante, ligado a la biología evolutiva. Es necesario estudiar cómo actuó el proceso de selección natural en los genes del organismo y el diseño del cuerpo, y las diferentes propiedades de envejecimiento que generó.

E.P. Pero ¿por qué especies como la hidra o la anémona parecen inmortales?

T.K. Esencialmente, es una cuestión relacionada con las propiedades fundamentales del sistema biológico, como descubrió en 1880 el naturalista alemán August Weismann. En un organismo, existen dos tipos de células: las que generan la nueva hornada de niños, que son las células reproductoras del cuerpo…

E.P. Las células germinales, ¿verdad?

T.K. Exacto, las células germinales, y las otras células son las que forman el cerebro, el corazón, el riñón, la piel… y no contribuyen con genes a las futuras generaciones. A estas células se las denomina soma desaprovechable. Se ha descubierto que el envejecimiento es una propiedad de la parte ordinaria del cuerpo, del soma. La parte germinal es extraordinaria: cuando un esperma del padre se une a un óvulo de la madre, se forma la primera célula del cuerpo y se empieza a dividir. Pero si regresamos en el tiempo y nos preguntamos cómo surgieron el esperma y el huevo del padre y de la madre, llegaremos a…

E.P. Tres mil millones de años atrás…

T.K. Exacto, hace tres mil millones de años. Por tanto, somos un milagro biológico, ya que somos el producto de una cadena ininterrumpida de división celular que ha durado tres mil millones de años. De manera que las células reproductoras son células germinales y, por tanto, son inmortales porque se transmiten de una generación a otra. Y estas células reproductoras consiguen evitar el envejecimiento. Organismos como la hidra o la anémona marina te parecen inmortales porque, en realidad, todo su organismo es germinal. Si se corta un poco de hidra y se pone en una taza con agua, se desarrollará hasta convertirse en un nuevo organismo, porque la línea germinal está distribuida a través de todo el organismo. Sin embargo, no todas las células de los seres humanos son germinales. Si introduces un trozo de piel humana en una taza con agua, no germinará un nuevo ser humano, porque las células de la piel son somáticas, y el envejecimiento es una propiedad del soma.

E.P. Mientras hablabas de las células inmortales, las células germinales presentes en el cuerpo humano, recordaba que los físicos argumentan que los átomos son eternos, y que un noventa y nueve por ciento de nuestro organismo está formado por átomos. Ésa es la paradoja: el ser humano está condenado a la muerte aunque esté formado por células inmortales y átomos casi eternos. Adentrémonos en tu teoría sobre el envejecimiento, en que el soma finito o dispensable es la razón principal del envejecimiento. ¿Qué quieres decir exactamente? Leyendo tus investigaciones, parece que concibes los genes como entidades muy inteligentes que realizan un análisis de costes y beneficios a partir del cual deciden si invierten sus fuerzas en el mantenimiento o la duración de la vida. En esta decisión radica, de acuerdo con tu teoría, el envejecimiento provocado por una falta de mantenimiento.

T.K. Desde luego. De entrada, quisiera subrayar que los genes no piensan, aunque a veces les atribuyamos una conciencia que no poseen en absoluto. Por tanto, los genes no toman decisiones, aunque a la larga se impongan los genes que tienen mejores estrategias, fruto de las mutaciones y el azar, entre las diferentes formas de genes que existen

entre la población. Pero a veces facilita las cosas hablar de los genes como si pudieran pensar, como si, en realidad, fueran conscientes. Sigamos con este lenguaje e intentemos entender qué determina que un gen tenga o no tenga éxito. El éxito de un gen se mide con el papel que desempeña en la construcción de un cuerpo que genere más copias del gen en futuras generaciones. Los genes dirigen la construcción del cuerpo y todo lo que hace el cuerpo a lo largo de su vida. Antes que nada, el cuerpo tiene que crecer y experimentar un complejo proceso de desarrollo, porque comienza la vida con una única célula.

E.P. Hasta alcanzar trillones de células.

T.K. Sí, miles y miles de millones de células. Mientras se desarrolla el proceso de crecimiento, se cometen errores, es decir que cada vez que una célula se divide, se comenten errores en la forma de copiar. Y cada minuto de vida se desvían proteínas, simplemente por las vibraciones que existen en un organismo caliente. Las proteínas se agitan muy rápidamente y, cuando se generan nuevas proteínas, se producen errores, de manera que las cosas van mal incluso estando aquí sentados, conversando. Hay muchísimas cosas que van mal en el cuerpo y el hecho de que se siga vivo semana tras semana, mes tras mes, año tras año, es fruto de una grandísima inversión en mantenimiento. Es extraordinario el trabajo del cuerpo para mantener en buenas condiciones las células.

E.P. Has escrito que cada célula recibe diariamente diez mil golpes de no se sabe dónde. ¡Es increíble, diez mil golpes!

T.K. Sí, se tienen millones de millones de células. Cada una de esas células del cuerpo recibe cada día unos diez mil golpes en el ADN, y estos golpes proceden, sorprendentemente, del oxígeno, un amigo nuestro. Pero es otra historia, ya que a veces nos olvidamos de que el oxígeno es un amigo que nos proporciona los medios para poder vivir pero…

E.P. Es un asesino.

T.K. Es a la vez amigo y asesino. La cuestión más relevante es que si las células toleraran tantos errores y golpes diarios, podemos sentirnos afortunados de sobrevivir una semana. La razón por la que se puede sobrevivir más de una semana es porque poseemos un sistema

magnífico de reparación del ADN, que reconoce el daño y trabaja para repararlo. Es decir que de los diez mil golpes recibidos en el ADN de una de tus células, mañana se habrán reparado nueve mil novecientos noventa y siete. Pero no se hace de forma gratuita, los genes tienen que decidir cuánta energía destinan a los procesos de reparación y mantenimiento. Recapitulando, ya hemos hablado del crecimiento y ahora deberíamos centrarnos en la reparación y el mantenimiento, porque los genes tienen otras cosas en las que gastar la energía y los recursos, haciendo bebés. Es esencial que los genes hagan copias para las futuras generaciones.

E.P. Sugieres que mientras los genes están ocupados haciendo bebés no pueden realizar procesos de mantenimiento y reparación.

T.K. Es como el dinero en una cuenta corriente. Si se decide ir de vacaciones o a cenar a un restaurante de lujo, no se tiene el dinero en el banco para poder arreglar el coche la semana siguiente. El dinero no se puede gastar dos veces, como en los organismos. Un organismo tiene que decidir cuánto gastará en el mantenimiento del cuerpo. El mundo real de los humanos es muy singular y no siempre ha sido como ahora. Hemos evolucionado hasta llegar a ser muy inteligentes y vivimos mucho tiempo, ya no morimos devorados por animales depredadores y, en la actualidad, casi nadie muere, en Occidente, por enfermedades infecciosas. Pero hace dos siglos, la vida era muy diferente. La gente moría muy joven y la esperanza de vida no excedía los treinta o treinta y cinco años. Pero si imaginamos los genes en un contexto de vida de unos treinta años, ¿cuánto crees que invierten los genes en el mantenimiento del cuerpo?

E.P. Muy poco, porque la vida desfallecía enseguida.

T.K. Muy poco, porque para una vida tan breve no es necesario un cuerpo perfecto, es una pérdida de energía. Desafortunadamente para nosotros, los genes tratan el cuerpo como un soma meramente desaprovechable, una vez garantizada la continuidad de la generación siguiente mediante nuevos nacimientos. Entonces envejecemos, porque es un lujo, una perdida para los genes invertir en el

mantenimiento del organismo una vez se ha reproducido. Hemos evolucionado para tener un mantenimiento limitado de las células y los órganos del cuerpo.

E.P. Quisiera preguntarte dos cosas. La primera es que, como ahora vivimos muchos más años, la inversión en mantenimiento debería incrementarse, ¿verdad? Y la segunda es si el envejecimiento está ligado al hecho de que las células no sigan dividiéndose después de cincuenta o sesenta veces. ¿Por qué diablos es así?

T.K. Hace cuarenta años, Leonard Hayflick realizó un estudio que dio su nombre al fenómeno. El fenómeno de Hayflick es que, como decías, las células sólo se pueden dividir cincuenta veces. Estas cincuenta divisiones celulares son suficientes para las células necesarias para una vida. Si se coge el número dos —porque las células se dividen por la mitad—, y se multiplica por dos, y así sucesivamente, cada multiplicación simula una división celular, ya que en cada división se dobla el número de células. Cuando se ha multiplicado dos por dos, el resultado por dos, y así sucesivamente cincuenta veces, el número de células que se obtiene es superior al de células que requiere el cuerpo humano a lo largo de su vida. Por otra parte, en un cultivo celular las células envejecen y mueren por una acumulación de errores. Ahora se está investigando la naturaleza de los errores que se cometen. Son los inicios de la teoría del soma finito explicados a nivel celular individual.

E.P. Porque lo que sucede en el cuerpo se puede analizar en un cultivo celular…

T.K. Sí, pero no todas las células del cuerpo se pueden cultivar de esta manera, ya que algunas células del organismo no se dividen durante la vida, especialmente las del cerebro, que pueden vivir más de cien años, porque hay gente que ha vivido más de cien años cuyo cerebro funcionaba correctamente. En estos casos, el mantenimiento de las células del cerebro es necesario y existen unos procesos de reparación extraordinarios. La naturaleza de las proteínas cambia, ya que podían haber sufrido daños, quizá por el oxígeno. Por otra parte, las células tienen sistemas de desecho para eliminar las proteínas nocivas, para

reparar el ADN, ya que aunque la célula no se divida, el ADN sigue sufriendo, de manera que es indiferente si es una célula que se divide o una célula que no se ha dividido desde que éramos bebés, como las del cerebro, las células necesitan sistemas de mantenimiento que las mantengan en forma durante un tiempo, pero desgraciadamente no para siempre, ya que al hacernos mayores las células del cerebro comienzan a perder funciones.

E.P. Intentemos analizar estas amenazas desde el punto de vista de la gente de la calle. La primera amenaza es la mutación. A causa de las radiaciones, las células mutan y a veces mutan erróneamente, pero no pueden repararse constantemente… La primera gran amenaza, por tanto, es la mutación.

T.K. Es lo que sucede con el cáncer. A medida que se envejece existe mayor riesgo de desarrollar un cáncer, y la mayoría están causados por mutaciones. Conocemos de dónde proceden las mutaciones y los errores que cometen las células al copiarse a sí mismas.

E.P. La segunda amenaza son los llamados radicales libres, las bestias devastadoras que actúan contra las células. ¿Qué diablos hacen estos radicales libres?

T.K. Los radicales libres son la parte negativa de nuestro amigo el oxígeno. El cuerpo utiliza el oxígeno respirando una bocanada de aire, que se transmite a la sangre y ésta se la lleva a cada célula del cuerpo. Una vez en la célula, el oxígeno penetra en su interior por unos pequeños orgánulos, las mitocondrias, que son unas cápsulas en el interior de las células donde, en realidad, la célula quema el oxígeno para crear energía. Por tanto, ese oxígeno es una parte fundamental de la generación de energía en el interior de la célula. Pero ya sabes qué sucede si utilizas oxígeno en la chimenea de tu casa para crear energía. La mayor parte del fuego está dentro de la chimenea, pero de vez en cuando el fuego lanza unas chispas y es peligroso, ya que puede extender el fuego fuera de la chimenea. Pues ocurre exactamente lo mismo dentro de las células del cuerpo: la mayor parte del oxígeno se utiliza de forma segura, dentro de las mitocondrias en las células, pero

se estima que un dos o tres por ciento de las moléculas de oxígeno escapan de los canales químicos adecuados en los que se realiza el proceso y…

E.P. Y siembran el caos…

T.K. Y siembran el caos porque el oxígeno es un elemento químico muy reactivo. Todos hemos experimentado cómo el oxígeno corroe la chapa de nuestro coche o qué le hace el oxígeno a la mantequilla si la dejamos expuesta al aire. El oxígeno es un agente muy dañino y puede causar muchos daños en el interior de las células. Los radicales libres del oxígeno hacen saltar lo primero que encuentran, y si es el ADN, dañan el ADN, si es una membrana, dañan la membrana, si es una proteína, la destruyen. Y sucede en cada minuto de tu vida.

E.P. ¿Qué remedios existen? Ya hemos identificado las amenazas: las mutaciones, la oxidación y la fragilidad de la mitocondria y del ADN de la mitocondria. Parece que sólo existen dos estrategias. La primera consiste en disminuir la exposición a esos ataques diarios —ya nos dirás cómo—, y la segunda en mejorar el mantenimiento somático.

T.K. Es esencial entender qué sucede realmente en el envejecimiento para poder combatirlo a tiempo y aumentar las probabilidades de alcanzar la vejez en buena forma. Es completamente cierto que existen dos formas de solucionar el envejecimiento. Si es debido a una acumulación de daños de las células, podemos hacer dos cosas. Una es intentar protegernos contra el daño y la otra es intentar mejorar los procesos de reparación. De hecho, podemos hacer las dos cosas y desde varios procesos muy simples…

E.P. ¿Como cuáles?

T.K. El envejecimiento es el resultado del daño, y una de las formas en que sucede este daño, y se puede reducir, es por la alimentación. Somos lo que comemos, casi todo lo que ingerimos forma parte del cuerpo. Si comemos cosas equivocadas, por ejemplo, grasas o azúcar en exceso, es pernicioso para las células y los tejidos del cuerpo. No es bueno tener demasiado azúcar circulando por la sangre porque daña a las proteínas y causa muchos problemas. De ahí que los diabéticos tengan tantos problemas y que, antes del tratamiento moderno con insulina, la

diabetes se considerara como una enfermedad de envejecimiento prematuro. No podemos exponer el cuerpo a daños excesivos y, por supuesto, todos sabemos que fumar… ya sabemos qué sucede con los fumadores.

E.P. Antes de entrar en el tema del tabaco, explícame qué se desprende de los experimentos en que se ha reducido en un treinta por ciento la ingesta calorífica de las ratas, con el resultado de un alargamiento de su vida. ¿Es aplicable a los seres humanos?

T.K. Me parece una perspectiva deprimente tener que reducir la ingesta de alimentos en un treinta por ciento. Y todavía no se ha demostrado si funciona con los seres humanos. Sabemos que funciona con las ratas…

E.P. Y los monos.

T.K. Se están realizando estudios con monos y se tardará todavía un tiempo en saber si afecta a la duración de la vida. Sí parece inducir cambios que llevan a pensar que tiene los mismos efectos en los monos que en las ratas. Es una pregunta interesante y supone un reto para los científicos averiguar por qué la reducción en la ingesta de alimentos aumenta la longevidad. En mi departamento, hemos llevado a cabo bastantes investigaciones en esta línea y creo que la respuesta es que los animales, en la naturaleza, tienen que soportar entornos muy variables, como períodos de hambruna, que requieren que el animal almacene la energía suficiente para continuar en vida. Cuando surgen condiciones difíciles, las ratas y los monos se desconectan las actividades reproductoras y cierran por completo la fertilidad, mientras aumenta el mantenimiento del cuerpo. Con esta estrategia pueden sobrevivir una mala época, con la esperanza de volver a tener alimentos dentro de unos meses. Con todo, no se ha demostrado si funciona de la misma manera en los humanos.

E.P. Te referías al tabaco…

T.K. Sí claro, todo el mundo sabe que fumar causa mucho daño. A decir verdad, se puede fumar, de hecho muchos fumadores han pensado en las consecuencias de fumar y han decidido seguir fumando, aunque el tabaco daña las células. Pero cada uno elige el tipo de vida que quiere seguir. Ocurre igual con la alimentación. España ocupa una de las

mejores posiciones en alimentación dentro de Europa. La dieta mediterránea, que incluye muchas verduras, pescado, vino tinto y aceite de oliva, favorece la longevidad. Ahora empezamos a descubrir por qué es así, al descubrir los productos químicos de estos alimentos y del vino tinto que, en realidad, tienen un efecto protector y ayudan al cuerpo a luchar contra los radicales libres.

E.P. ¿Y las hormonas? Quiero decir las terapias hormonales…

T.K. Existe mucha controversia y las investigaciones son muy discutibles. Es como si se tiene un coche muy viejo y se le pone un combustible de cohete en el tanque de la gasolina. El coche puede funcionar de maravilla los primeros kilómetros, pero puede que sea el final del coche.

E.P. ¿Y la melatonina? ¿Es inofensiva?

T.K. Sí, parece inofensiva, y probablemente lo es porque no es efectiva. Creo que estas terapias revelan actitudes psicológicas ante el envejecimiento. La predisposición a creer que algo les rejuvenecerá de forma mágica, aunque la ciencia sugiere que es muy poco probable que algo se arregle rápidamente. Creer que algo que se pueda comprar en cápsulas o en una botella ayude a envejecer mejor es un tanto crédulo. Pero al mismo tiempo, la ciencia demuestra que si se cambia el estilo de vida —la dieta o hacer ejercicio: la forma más potente de rejuvenecer el cuerpo es haciendo ejercicio—, nunca se es demasiado viejo para empezar a experimentar los beneficios rejuvenecedores del ejercicio, incluso a los noventa años, aunque quizás a causa de la artritis se impone restricciones en los movimientos. Incluso si hay que hacer los ejercicios sentado en una silla —no se trata de ir al gimnasio y ponerse ropa moderna, sino de hacer ejercicio—. Y existen estudios que demuestran que las propiedades rejuvenecedoras pueden equivaler a restar veinte años del reloj biológico.

E.P. Es increíble, ¿verdad? Es cierto que existe mucha ignorancia. Sostienes que hemos mejorado la educación sexual y que, sin embargo, no hemos conseguido difundir nuevas actitudes psicológicas sobre el envejecimiento. Cuando una persona está luchando contra el cáncer decimos que es muy fuerte y tiene mucho valor, que es heroica, pero si

alguien lucha contra el envejecimiento, nos parece vanidoso. No me digas que no es significativo que hayamos aceptado con tanta indiferencia la noticia más nueva y revolucionaria de toda la historia de la evolución: que en países como España existe más gente mayor que joven por primera vez en la historia.

T.K. Es cierto y creo que, como parte de la comunidad científica, estamos empezando a despertarnos. El cambio social y demográfico refleja la longevidad alcanzada recientemente y jamás experimentada anteriormente, aunque todavía no hemos pensado en cómo aprovechar la longevidad. El entorno en que se vive influye mucho en la posibilidad de alcanzar la vejez con salud. Y creo que tendemos a pasar por alto, no sólo el entorno físico —la casa, el transporte—, sino las actitudes que nos rodean. Porque, de nuevo, hemos aprendido por medio de investigaciones que una de las mejores maneras de mantenerse con vigor e independencia y de tener una buena calidad de vida en la vejez es teniendo una actitud positiva y una gran interacción social. Si estás rodeado de gente que dice «ya estás mayor, pasa», «estás al final de tu vida», «ya no nos interesas», te deprimes. Y si psicológicamente te desmontas, no haces ejercicio físico ni te preocupas por tu dieta, te debilitas, y si estás físicamente débil es posible que te caigas, ya que el cuerpo no está en forma y te rompas la cadera, y entonces sí se produce un descenso físico rápido. Es necesario alejar a la gente mayor de esta espiral deprimente que proviene, en parte, de la biología, de problemas médicos y, en gran parte, de problemas psicológicos propios del envejecimiento. En la actualidad han declinado los prejuicios sexistas y racistas, pero no respecto al envejecimiento. Y no se arreglará fácilmente, ya que a diferencia de todos los otros ismos, como el sexismo o el racismo, nadie sabe en qué lugar se encuentra. Es decir, si tienes la piel oscura, la tendrás oscura toda la vida, si naces mujer u hombre, es para toda la vida. El problema con el envejecimiento es que se cambia de lugar con el paso del tiempo. Si fuéramos viejos cuando somos jóvenes, cuando se llega a la vejez ya se estaría acostumbrado, pero no es fácil dar ese giro psicológico.

E.P. Quisiera formularte una pregunta que quizá no tiene respuesta: ¿por qué las mujeres viven más que los hombres?

T.K. Es una pregunta muy profunda. Se cree que la raíz está en la biología. Se ha discutido mucho si era debido al estilo de vida o a diversos modelos de trabajo, pero creo que la evidencia es tan grande que aunque existan influencias, la causa de raíz es biológica. Se puede contestar en dos aspectos. Respecto al soma, el cuerpo finito, la triste realidad es que el cuerpo del macho es más finito que el de la hembra porque, esencialmente, el cuerpo de la hembra es biológicamente el centro del desarrollo de las crías mientras que los machos son menos necesarios. Y es muy interesante una investigación que se ha llevado a cabo recientemente que explica que si se cogen células de una rata hembra y macho y se analiza cuáles son mejores combatiendo, por ejemplo, los radicales libres, las células de la hembra son más eficaces.

La gran contribución de Kirkwood a la biología de la inmortalidad ha sido centrar la atención y esfuerzos en la célula, entendida como personaje principal del drama. Algo parecido hizo el premio Nobel Michael Bishop con el cáncer. Hasta entonces, en uno y otro campo, se daban palos de ciego, y sólo a partir de entonces, se han iniciado los primeros pasos en la comprensión y aplicación de terapias en los dos escenarios.

La segunda gran contribución de Kirkwood fue traer a colación la división entre los dos tipos celulares: las células progenitoras y las constitutivas del soma, que no tienen nada que ver unas con otras. Unas son eternas y las otras son las artífices del envejecimiento. ¿No es sorprendente —e ilustrativo de la dispersión inexplicable de los centros de gravedad o puntos de referencia de la educación recibida— que muy pocos lectores de este libro fueran conscientes, antes de adentrarse en su lectura, de esa dicotomía vital? En mi niñez rural en el pueblo de Vilella Baixa, en la comarca del Priorato tarraconense, lo primero que aprendí fue a distinguir los gorriones machos de las hembras. En otros contextos geográficos se aprendía en edades igualmente tiernas a distinguir entre

fieles e infieles, o entre bosnios y croatas. A nadie se le ocurría reflexionar sobre la división celular a pesar de sus impactos desmesurados en comparación con las desigualdades apuntadas.

Lo mismo podría decirse del tenor dextrógiro de la glucosa y del ADN, frente al talante levógiro de los aminoácidos. La estructura de las asimetrías en el Universo parecería reflejar un mundo en el que los rectores de las instrucciones y del control de las operaciones estaban orientados a la derecha, y los catalizadores del trabajo, como las proteínas, a la izquierda. No es que los físicos hayan desvelado el sentido de esta distinción, pero desde Pasteur, por lo menos, sabemos que otras vidas y universos con asimetrías distintas no podrían relacionarse con el nuestro. En todos los casos se trata, probablemente, de distinciones binarias más relevantes que la del sexo de los gorriones o las que proliferan en tierras del Islam y los Balcanes.

Antienvejecimiento (II)

DOUGLAS WALLACE

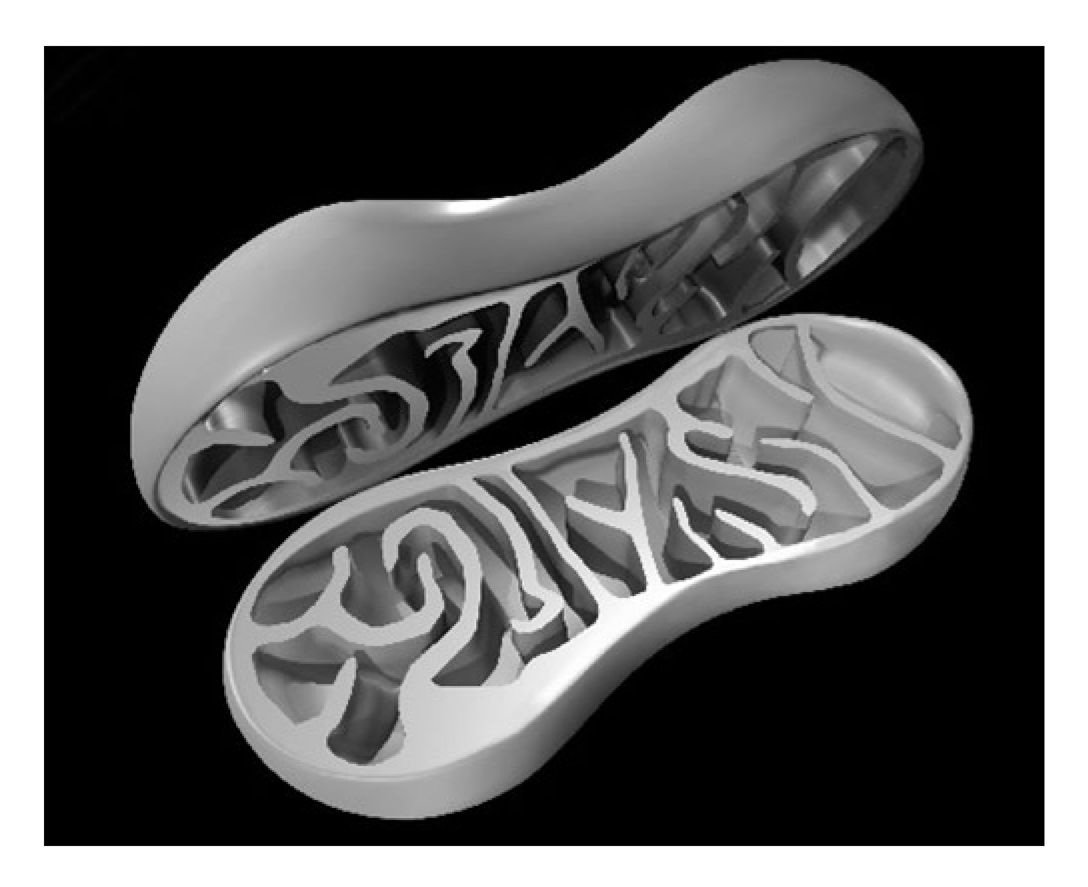
«El generador de energía de las células se hereda de la madre y no del padre».

La otra distinción vital en el contexto de la biología de la inmortalidad se la debemos al joven científico norteamericano Douglas Wallace. No es que Wallace descubriera la existencia de mitocondrias en el citoplasma de la célula —estaban descubiertas desde los tiempos de Richard Altmann, en 1890—, sino que en una época que arranca en 1953, con el ensordecedor toque de arrebato que anunció el ADN y las promesas que comporta el conocimiento de su secuenciación, el joven científico norteamericano llamó la atención sobre la trascendencia de las mitocondrias como generadoras de la energía que necesita la célula para sobrevivir y del envenenamiento que la consume.

Douglas Wallace es el director del Centro de Medicina y Genética Molecular y Mitocondrial de la Universidad de California, donde lidera trabajos sobre la evolución del ADN mitocondrial en seres humanos, gracias a los que se han descubierto nuevos datos sobre nuestra longevidad o nuestra adaptación a los cambios ambientales debidos a las migraciones humanas en su conquista del planeta.

DOUGLAS WALLACE. Las mitocondrias son las otras células humanas. En el interior de cada célula existe una colonia de bacterias de vital importancia, las mitocondrias, que son el generador de energía de la célula y suministran toda la energía al cuerpo. Hay unas diez elevado a diecisiete mitocondrias que se sostienen sobre tus pies en estos momentos.

EDUARDO PUNSET. ¿Y de dónde proceden estas mitocondrias?



Las mitocondrias guardan el secreto del envejecimiento.

D.W. Las mitocondrias tienen un origen muy interesante. Al principio, hace unos dos mil millones de años, eran bacterias libres. Luego fueron rodeadas por células que finalmente dieron origen a nuestras células y así empezaron a vivir en su interior.

E.P. ¿En una especie de cooperación simbiótica?

D.W. Exacto. Y lo primero que proporcionaron fue protección a la célula anfitriona, que finalmente daría origen a nuestro núcleo, con respecto a la presencia del oxígeno que estaba apareciendo en la atmósfera de la Tierra. Al principio, la Tierra tenía una cantidad de oxígeno muy reducida, pero con la invención de la fotosíntesis se comenzó a emitir oxígeno molecular como residuo, y esta emisión cambió la atmósfera, de reductora a oxidante, y muchísimos organismos murieron.

E.P. A veces la gente olvida que las diminutas bacterias cambiaron toda la atmósfera del planeta.

D.W. Todo el ecosistema.

E.P. Es increíble, ¿verdad?

D.W. Sí. Estas mitocondrias ya habían inventado la capacidad de tomar el oxígeno del aire y de hacerlo reaccionar con el hidrógeno de los carbohidratos de las grasas, procedente de la comida que ingerimos, y crear agua de nuevo, pero la energía que se liberaba quedaba atrapada para que pudiera ser utilizada por la célula. Además, estas mitocondrias, al contener oxígeno, tuvieron que inventar una forma de desintoxicar el oxígeno venenoso. Por tanto, cuando las mitocondrias quedaron atrapadas en la célula anfitriona, lo primero que hicieron fue proteger a la célula anfitriona del oxígeno tóxico y esto estabilizó la simbiosis. Más tarde, la célula anfitriona consiguió averiguar cómo robar ATP, la energía, de las mitocondrias, y el resto, como se suele decir, ya es historia.

E.P. ¿Y cómo llegamos a la situación actual?

D.W. Lo más increíble de las mitocondrias es que, como viven en el citoplasma de la célula, fuera del núcleo, no se heredan de la misma manera que los genes del núcleo. De hecho, se heredan a través del citoplasma. El magnífico óvulo humano tiene un gran citoplasma que contiene unas cien mil mitocondrias. Sin embargo, el esperma sólo tiene unas pocas . Por tanto, en la fertilización, todas las mitocondrias provienen de la madre, de manera que el generador de energía de las células se hereda de la madre y no del padre.

E.P. Es decir que la energía está en la madre.

D.W. Sin duda. De ahí que el movimiento feminista no anduviera equivocado.

E.P. Hablemos de salud. Si la mitocondria hace todas estas cosas, debe ser importantísima para la salud.

D.W. Desde luego. Las mitocondrias son como las plantas generadoras de energía de la ciudad de Barcelona. En el centro de Barcelona está la gente, pero para poder tener energía se construyen plantas que generen energía en las afueras, en el campo, plantas que pueden ser de carbón, de energía nuclear e hidroeléctricas que aportan la energía eléctrica a la ciudad. Pero esas plantas que generan energía y electricidad queman combustible y producen humo, como en una planta de carbón donde se quema el carbón y se produce energía. Pues con las mitocondrias

ocurre lo mismo. Hay centenares de mitocondrias en la célula y cada una genera un poco de energía para la célula, y en el proceso generan humo, que en realidad son radicales de oxígeno, ya habrás oído hablar de los radicales de oxígeno…

E.P. Los radicales libres…

D.W. Los radicales libres, como se les llama, son un problema para la salud. De hecho, los radicales libres son como el humo de tu planta de energía. Con el transcurso del tiempo, los radicales libres, producidos por las mitocondrias, dañan los bocetos de ADN que la mitocondria tiene en su interior para seguir reparando las plantas de energía. Cuando todos los fragmentos de ADN de las mitocondrias de las plantas generadoras de energía están dañados, las plantas no se pueden reparar, se desconectan y entonces la célula se desvanece.

E.P. Doug, ¿no te parece que se gastan miles de millones de dólares en averiguar qué sucede dentro del núcleo de la célula —me refiero a la lucha contra las enfermedades neurodegenerativas, por ejemplo— y, en cambio, se invierte muy poco en averiguar qué ocurre con las mitocondrias, que al fin y al cabo, como has dicho, son las que fumigan la célula y tienen el poder de amortizarla?

D.W. Exacto. La célula humana está hecha de dos tipos de células, y el núcleo sólo representa una de ellas. Por tanto, la otra célula, que es igual de importante, se ignora, y esa célula es la responsable de generar casi toda la energía que usamos y, por supuesto, de fabricar todos los radicales de oxígeno tóxicos. Además, las mitocondrias tienen otra propiedad muy interesante: no sólo generan la energía y los desechos tóxicos, sino que, además, cuando las mitocondrias enferman, tienen una propiedad de autodestrucción que ordena a las mitocondrias y a la célula que se autodestruyan…

E.P. Es la famosa apoptosis: un suicidio programado.

D.W. Exacto. Por tanto, cuando las plantas de energía de las mitocondrias se vuelven inútiles, en lugar de tener células desperdigadas por el cuerpo que generan muchos radicales de oxígeno venenosos, las mitocondrias simplemente cierran las plantas de energía, las destruyen por apoptosis. En los sistemas humanos se dañan tantas mitocondrias

en cualquier momento que, la solución consiste en destruir la célula completa. A medida que envejecen, las personas cada vez tienen más células con mitocondrias dañadas, en las que se produce la apoptosis y la célula muere, y al final no existen suficientes células en el tejido para realizar la función.

E.P. ¿Y qué podemos hacer entretanto? Quiero decir antes de que las mitocondrias decidan aplicar el suicidio programado.

D.W. Una de las cosas en las que estamos trabajando es intentar desarrollar medicamentos que tengan como objetivo las mitocondrias y que eliminen los radicales de oxígeno tóxicos. Son como los limpiadores de las acumulaciones de hollín en las chimeneas de las plantas de energía. Por tanto, si podemos reducir la contaminación causada por las mitocondrias, podremos proteger su estructura y la integridad de la célula.

E.P. ¿Y qué te parecen las pastillas que se venden en las farmacias para combatir los radicales de oxígeno? Me refiero a las vitaminas E, C o al caroteno. ¿Son útiles, mientras no podamos actuar directamente sobre las mitocondrias?

D.W. Desde luego. Es un comienzo. La vitamina C, la vitamina E y el caroteno reducen los efectos de los radicales de oxígeno en las mitocondrias. Pero no son muy eficaces para eliminar los radicales de oxígeno. Estamos desarrollando medicamentos que continuamente —o catalíticamente, como lo llamamos— estén reduciendo la contaminación, igual que el conversor catalítico de un coche: así se regenera constantemente el catalizador y se va eliminando la basura.

E.P. Y si tenéis éxito, ¿cómo será el envejecimiento?

D.W. Nuestra esperanza es que impida la progresión de las enfermedades degenerativas que creemos que están afectadas por las mitocondrias, como el Alzheimer, ciertos tipos de ceguera y sordera y ciertas enfermedades cardíacas, renales, o la diabetes. Creemos que el daño causado a las mitocondrias es la causa de la aparición posterior de estas enfermedades. Por tanto, si conseguimos un medicamento que pueda inhibir este daño, podríamos detener los problemas que la gente desarrolla a una edad posterior.

Regeneración de tejidos (I)

Eliane Gluckman

«A las verdaderas células madre no hemos podido verlas todavía.»

Es en el marco teórico descrito hasta ahora donde batallan los magos practicantes de la regeneración de tejidos: una docena de equipos de investigadores rastrean las huellas de la salamandra en la vida salvaje o de los peces-cebra, en laboratorios de todo el mundo.

La misión es acortar drásticamente la diferencia insultante entre la capacidad regeneradora de los órganos y las neuronas en los humanos y en la modesta salamandra o los peces-cebra.

El objetivo es atajar las enfermedades degenerativas como el Parkinson, que aflora de manera insidiosa a medida que aumenta el tramo de vida redundante —en términos evolutivos—, a raíz del alargamiento de la esperanza de vida. La cura de la diabetes del tipo uno depende de la insulina. Recomponer los tejidos devastados por las enfermedades cardíacas.

Las investigaciones consisten en explorar por fin el proceso de diferenciación celular y el sistema de comunicaciones que lo condiciona, con vistas a utilizar el potencial regenerador de las células madre embrionarias, del cordón umbilical y de las llamadas Células Multipotenciales Adultas Progenitoras (CMAP).

De la docena de centros de investigación existentes hemos elegido a los dos directores de los equipos que más cerca están de las huellas de la salamandra: Eliane Gluckman, del Hospital Saint Louis de París, responsable del primer trasplante de células madre del cordón umbilical para el tratamiento de la anemia de Fanconi, y Piero Anversa y Bernardo

Nadal-Ginard, del Instituto de Investigaciones Cardiovasculares de Nueva York, responsable de las primeras regeneraciones de tejido cardíaco con células madre adultas.

Eliane Gluckman lidera en Europa los trabajos con células madre procedentes del cordón umbilical, que ya se han usado como alternativa a los transplantes de médula ósea, y que podrían llevar a nuevos protocolos para curar otras enfermedades o reparar tejidos dañados.

ELIANE GLUCKMAN. Primero deberíamos definir qué es una célula madre. Antes se hablaba de células madre que originaban los elementos de la sangre, y se inventó el concepto de que a partir de una única célula se podía conseguir el desarrollo de células con funciones completamente distintas. Es decir que a partir de una célula madre de la sangre que se encuentra en la médula se pueden fabricar glóbulos rojos, cuyo destino es oxigenar los tejidos, glóbulos blancos, que luchan contra las infecciones, y plaquetas, que combaten las hemorragias. Se llamó a esta célula original célula madre. El problema es que esta célula madre no puede ser aislada, ya que sólo se la caracteriza a través de sus células hijas. Ella misma no ha sido identificada de manera formal, ni ha podido ser cultivada, puesto que en cuanto se la coloca en un medio de cultivo, empieza a diferenciarse.

EDUARDO PUNSET. Entonces, sugieres que, en el microscopio, no se han visto nunca.

E.G. Sólo se han descrito, pero creo que el progreso de la ciencia de los próximos años lo mejorará. Se identifica a una célula madre a partir del hecho de que una única célula, aislada en el laboratorio, puede dar lugar a varias líneas celulares. Así pues, por ejemplo, la misma célula, en un medio de cultivo, dará lugar a una célula neuronal —generadora del nervio— y a una célula hematopoyética —de la sangre. Luego, la célula original es la madre de estas dos líneas, una etapa de desarrollo anterior. Y para volver a la sangre, puesto que de ahí surgió este concepto, se las llamaba células madre. Éramos incapaces de aislarlas; se podía aislar una población de células particularmente inmaduras, pero nunca la verdadera y, finalmente, ya que esas células sólo se

diferenciaban hacia las líneas hematopoyéticas, se dejó de llamarlas células madre y se las nombró progenitoras. Porque —y es un poco la definición de las células madre— se han ido pasando etapas: Hace años hablar de células madre era tabú: «no, no son células madre», se decía, «son células progenitoras, ya que se sabe que hay células antes, que pueden dar lugar a varias líneas». Y el progreso hoy es saber que para aislarlas el único método es partir del principio, es decir del momento de la concepción. La única célula madre verdadera, aislada hoy, es la procedente de la unión de un óvulo y un espermatozoide, puesto que es la que dará lugar a la totalidad del individuo.

E.P. ¿Todos los tejidos —la sangre, la piel, el músculo— tienen reservas de células madre adultas, con las que se puede trabajar?

E.G. Esa es la controversia, el meollo de la cuestión. Hace tres o cuatro años se anunció que a partir de músculo, por ejemplo, se podían desarrollar, por cultivo celular, células del hígado… Y, entonces, se habló de la posibilidad de una célula madre presente en la edad adulta, que hubiera permanecido desde la vida embrionaria y que hubiera conservado la potencialidad de las células embrionarias.

E.P. ¿Se la podría obligar a retroceder?

E.G. No a retroceder, pero sí despertarla y obligarla a recuperar sus capacidades de célula embrionaria. Es la llamada plasticidad celular: Se parte de una célula de hígado y se obtiene una célula de músculo, se parte de una célula neuronal y se obtiene médula, se parte de médula y se puede regenerar un cerebro. Se entiede que suscitara tanto interés entre los científicos porque era totalmente nuevo y muy relevante en la medicina regenerativa. Pongamos el caso de alguien con una enfermedad de corazón que haya provocado la muerte de fibras musculares: se le inyectan células madre e imaginamos que el corazón se repara. De hecho, se están realizando experimentos en esta vía.

E.P. Ya se ha hecho con animales, con ratones.

E.G. El problema es que el concepto mismo se ha vuelto a cuestionar, porque estos experimentos han demostrado, en algunos laboratorios, que efectivamente se podían encontrar en el adulto células madre capaces de regenerar un determinado número de tejidos. Pero en otros

experimentos no se ha llegado a la misma conclusión, de ahí que se recurriera a otro concepto diferente del de plasticidad: es el concepto de la fusión celular. Es decir que no se trata de una vuelta de la célula al estado embrionario y la posibilidad de rediferenciarse en los distintos tejidos, sino que la célula es capaz de fusionarse con una célula del hígado o del corazón, permitiendo su regeneración. Los dos conceptos se están investigando, pero es muy difícil, porque no tenemos verdaderos marcadores de la célula madre.

E.P. No podemos verla…

E.G. No podemos verla y en determinados órganos no tenemos ni siquiera marcadores de la célula que generaría. Tenemos marcadores para algunos tejidos, pero no para todos. Existe un problema de identificación de estas células.

E.P. ¿Y por eso las células madre embrionarias, en el estadio de blastocisto, son tan interesantes?

E.G. Son esenciales para el desarrollo de la ciencia y es una lástima que su utilización sea tan controvertida. Si queremos identificar células adultas, si queremos encontrar o devolver la capacidad a células adultas, a células de feto o a células del cordón umbilical, es preciso comprender con profundidad el mecanismo de desarrollo de estas células y qué señales harán que en el embrión la célula se dirija al desarrollo del sistema nervioso, del tubo digestivo o de la médula ósea. Es absolutamente esencial, porque es una mecánica muy fina y sutil. Se activan unos genes que actuarán durante un periodo determinado y que luego serán reprimidos bajo la influencia de discusiones entre células. Ese mecanismo fundamental del desarrollo es muy importante para comprender el proceso.

E.P. ¿Qué fuentes existen para investigar?

E.G. Si queremos investigar, hay varias fuentes: las líneas celulares que ya existen a partir de blastocistos, la utilización de los embriones procedentes de parejas estériles que no han sido empleados y que están en congeladores. Una tercera fuente, mucho más controvertida, todavía, son los embriones para la investigación. Hay enfermedades genéticas donde puede ser muy importante fabricar embriones para

saber cómo corregir esa enfermedad genética… y después está la clonación terapéutica, que es un término muy incorrecto para designar la fabricación de embriones a partir de citoplasma de células adultas. Estas son todas las posibles fuentes de células. Ya sabes que plantean muchos problemas: la única opción más o menos permitida hoy, y no en todas partes, es utilizar las líneas ya existentes, pero estas líneas, al menos para los científicos, no son satisfactorias, porque no se han obtenido en las condiciones adecuadas, no tienen la diversidad suficiente y no se han obtenido realmente con el objetivo de hacer investigación.

E.P. Dices que sin trabajar con esas células embrionarias no sabremos nunca cómo se realiza el proceso de diferenciación.

E.G. No sé si no se sabrá nunca, porque en medicina y en ciencia nunca se puede decir nunca. Pero en el estado actual de conocimientos es el material que nos permitirá progresar más rápidamente. Y, para juzgar qué fuente de células madre sería la más interesante para la medicina, es muy importante que podamos compararlas con células fetales, con células sanguíneas del cordón y con células adultas.

E.P. Una manera de sortear el problema sería aislar células madre de adultos. Un grupo de investigadores de Minnesota, dirigido por Catherine Verfaillie, ha desarrollado un método de cultivo que, según dice ella, permitirá desarrollar células madre adultas.

E.G. Mediante métodos de cultivo particulares, y cultivando esas células durante meses y meses, dice que consigue obtener varias líneas a partir de esas células. Es decir que en su producto, tiene líneas que se van a diferenciar en el nervio, el músculo… pero el problema es que no tiene todas las líneas: no tiene la línea hematopoyética, por ejemplo.

E.P. Ni tejido cardíaco, mientras que sí se puede con células madre embrionarias.

E.G. Sí. Así que su concepto de célula madre adulta no es idéntico al nuestro.

E.P. Dices que tampoco en los trasplantes de médula ósea o en los de cordón umbilical en los que trabajáis son células madre como las hemos definido antes.

E.G. Encontramos en la sangre de cordón umbilical células madre hematopoyéticas. Encontramos células que originan las células de los vasos, los histiocitos. Encontramos también, aunque no siempre, células mesenquimatosas, que dan lugar al cartílago, al hueso y, aun así, algunos las encuentran y otros no. Y encontramos neuroesferas, que dan lugar al sistema nervioso. Es una de las fuentes actuales que presenta más interés porque estas células de la sangre del cordón umbilical no son células embrionarias ni fetales, es decir que han perdido parte de su potencialidad embrionaria, pero son muy inmaduras.

E.P. Pero no son pluripotenciales…

E.G. Son totipotenciales. Se inventan nombres para nombrarlo todo…

E.P. ¿Y qué ventajas presentan respecto a los trasplantes con la médula ósea?

E.G. Pues tienen muchas ventajas. Primero, porque son intermediarias entre la célula adulta y la célula embrionaria, de forma que han conservado muchas potencialidades de desarrollo. Si cogemos células del cordón umbilical del paciente, un volumen de cien mililitros basta, hay bastantes células. Para hacer un trasplante de médula a partir de un donante, sea niño o adulto, hace falta un litro.

E.P. ¿Hay ventajas en relación con el efecto de rechazo?

E.G. Sí, hay una ventaja en el plano inmunológico, ya que el bebé, al nacer, no ha conocido nunca microbios. No tiene inmunidad, la poca inmunidad que posee proviene de los anticuerpos transmitidos por la madre; pero la evolución de su vida en contacto con los organismos extraños la hará durante los primeros meses de vida. Las primeras reacciones del sistema inmunológico suceden en el momento en que el recién nacido bebe la leche materna que empezará a inmunizarle contra el medio exterior. Por eso se dice, de hecho, que la leche de la madre es mejor, porque contiene muchos más antígenos cercanos. Así, al ser inmaduras, las células tendrán menos reacciones inmunológicas y se desarrollarán directamente en el trasplantado. No se producirá el llamado rechazo, la reacción de las células trasplantadas frente al receptor. Es una gran ventaja, y es el único ejemplo que tenemos hoy:

la posibilidad de hacer trasplantes de células madre hematopoyéticas cuando no hay ninguna incompatibilidad con el sistema de compatibilidad tisular.

E.P. En 1988 obtuvisteis el primer gran éxito de trasplante de sangre de cordón, aquí en el Hospital Saint Louis de Paris.

E.G. Sí, curamos la anemia de Fanconi.

E.P. ¿Puedes recordarme un poco cómo fue?

E.G. Sí, claro, te contaré la historia porque es muy bonita. Fue una colaboración entre Estados Unidos y Francia. Se trataba de un niño afectado por una enfermedad rara, una aplasia medular congénita que lleva normalmente a la muerte a los diez o doce años. Los afectados son niños que nacen con una médula enferma y, poco a poco, la médula se agota porque no tiene suficientes células madre para asegurar la renovación, de manera que las células mueren de forma prematura. La madre del niño estaba embarazada y, por el diagnóstico prenatal, una toma de muestra del feto, se sabía antes del nacimiento que el niño no tenía la enfermedad de Fanconi. En el parto, se conservó la sangre del cordón. Pero entonces, en Estados Unidos, no se hacían trasplantes de sangre de cordón umbilical, no se había realizado nunca. Además, se desconocía la técnica particular de transplante que requiere esa enfermedad. Nuestros trabajos no se habían aceptado nunca en Estados Unidos, pero nosotros continuábamos realizando trasplantes, las primeras publicaciones sobre la enfermedad aparecieron en una revista especializada británica y no americana. Pero era indiscutible que lo que habíamos publicado daba resultados mucho mejores que lo que se hacía allí.

E.P. Y se aplicó en este caso.



Feto y cordón umbilical. La mitología tenía razón: en el cordón umbilical está la alternativa de la vida.

E.G. Conseguíamos una tasa de supervivencia de alrededor del noventa por ciento, de ahí que me llamaran para preguntarme si quería realizar el trasplante. Por supuesto, aceptamos.

E.P. Ya se había ensayado con ratas…

E.G. Más o menos, pero no con ese objetivo.

E.P. Me recuerda la historia de dos pacientes que esperaban en la sala de espera de un médico y uno le decía al otro: «si fuéramos ratas, ya estaríamos curados…»

E.G. Sí, es más fácil con las ratas. Lo cierto es que hicimos viajar a la familia americana a París, cosa que no es muy frecuente, y llegaron con un contenedor y una gran bombona, por las amenazas terroristas.

Se hizo venir al bebé, que podría servir como donante de médula en caso de que el trasplante con la sangre de su cordón umbilical no funcionase, y el producto vino congelado. El trasplante se realizó hace trece años y el niño ya está curado. En Navidades me envían una foto suya: es un sano adolescente que se encuentra muy bien.

E.P. Y su sangre es la sangre de su hermana.

E.G. Sí. Así que para nosotros fue como cualquier otro trasplante de médula, salvo que el producto era diferente y las preguntas que nos hacíamos eran si funcionaría en situaciones no familiares, donde no fueran idénticos —en este caso lo eran— y si funcionaría con otras enfermedades.

E.P. Se dice que la gran desventaja de las células madre del cordón umbilical es que hay muy pocas, diez veces menos por unidad que en un transplante partiendo de médula ósea…

E.G. Sí, hay menos en cantidad, pero la calidad es mejor. Eso no impide, sin embargo, que sea necesario un número mínimo de células y se están realizando los cálculos, puesto que ahora hay unas dos mil quinientas personas a las que se les ha hecho un transplante de sangre de cordón no familiar. Las cosas han progresado de forma muy rápida desde hace trece años, y sabemos que hace falta un número mínimo de células que se ha podido cifrar. Sin ese número de células, no se puede realizar el trasplante.

E.P. De ahí el interés de los bancos de células que coordinas a escala europea.

E.G. Sí… Digamos que desde hace trece años hemos puesto en marcha una red de bancos de sangre de cordón umbilical, con relaciones internacionales, hemos descrito los procesos de la técnica de extracción y los controles de calidad. Hemos establecido, asimismo, un registro de los pacientes transplantados y se evalúan los resultados, para dar unas directivas a los pacientes en estos términos: «sí, podéis hacer este trasplante en estas circunstancias de número de células y en estas circunstancias de compatibilidad tisular».

E.P. ¿Es realista pensar que en un futuro se conservará el cordón umbilical de todos los bebés para criogenizarlos en vistas de su propia salud, por si lo necesitan algún día? ¿Es impensable imaginar que gracias a la investigación de las células madre se podrán curar enfermedades degenerativas como el Parkinson o la diabetes, o reconstruir un tejido del corazón dañado por un infarto? ¿Son objetivos que perseguís con vuestra investigación o es inconcebible, por ahora?

E.G. Estamos en ello, claro está, pero no creo que las investigaciones tengan aplicaciones clínicas inmediatas. Hay muchas investigaciones en marcha e intentamos desarrollar líneas celulares de los diferentes órganos con la esperanza de poder utilizarlos en terapéutica. Sabes que hay cosas que ya se están haciendo como, por ejemplo, tomar células musculares y reintroducirlas en el corazón en pacientes con un infarto de miocardio. Existe una gran investigación europea en curso sobre este tema.

E.P. Y ya se hace…

E.G. Sí, pero ahora es necesario interpretar los resultados. Ya te he hablado de la fusión y de otras cosas… No estoy segura de que sea exactamente como se pensaba al principio, porque las células de músculo no son células madre, sino, simplemente, como una venda que permite cicatrizar a las células adyacentes. Creo que estamos todavía en la investigación básica, no sabemos suficiente sobre las señales de desarrollo, ni los mecanismos que harían que estas células se volviesen cancerígenas. Hay que aprender a dominarlas.

E.P. Me recuerda el concepto de la fusión nuclear, porque es un problema parecido en el sentido de que querríamos reproducir la energía «cancerígena» del Sol, pero no sabemos cómo contenerla.

E.G. Eso es. Así que hay que tener muchísimo cuidado antes de hablar de aplicaciones terapéuticas. Cuando constatamos el desarrollo de esta tecnología, imaginamos que en breve podremos curar la diabetes, la hipertensión, el Parkinson, el Alzheimer… Y tengo ciertas reservas. Creo que avanzaremos mucho y que hay que trabajar en ello, porque quizás no harán falta estas células una vez las conozcamos bien. Descubriremos, quizás, cuál es el producto que hace que una célula

normal se divida y dé la línea que deseamos. Yo lo entiendo así, personalmente, como la señal que dirá a las células del cerebro, por ejemplo, «retomad vuestro estado embrionario para regeneraros las células que habéis perdido». Sería ideal.

Regeneración de tejidos (II)

PIERO ANVERSA Y BERNARDO NADAL-GINARD

«El corazón está formado por unas células que podemos regenerar.»

En los laboratorios del Instituto de Investigaciones Cardiovasculares de Nueva York, Piero Anversa y su equipo, del que forma parte Bernardo Nadal-Ginard, ven el futuro con bastante más optimismo, o con menores dosis de realismo. Sólo el futuro dará la razón a unos u otros. De momento, viven el momento eufórico de haber regenerado con células madre de adulto un nuevo tejido cardíaco en ratones víctimas de un infarto de miocardio

PIERO ANVERSA. Creo que la sorpresa más grande que nos llevamos fue que no sólo estábamos generando nuevas células musculares del corazón, sino los vasos y los otros componentes: teníamos un nuevo tejido, un nuevo corazón, un nuevo fragmento de corazón. El concepto que todavía predomina en el noventa y nueve coma nueve por ciento de cardiólogos y de científicos relacionados con la cardiología, de forma experimental y práctica, es que se cree que nacemos con un número determinado de células en el corazón, que se contrae setenta y siete veces por minuto durante cien años, y nos morimos y todavía tenemos esas células, de manera que este lugar biológico siempre es el mismo y nunca se cambia. Si se pierde una, no se puede reparar. Nosotros empezamos a cuestionar este concepto, y el hecho de que pudimos demostrarlo utilizando un sistema —y más recientemente un corazón humano enfermo— en el que podíamos generar nuevos músculos y nuevos vasos cambió los paradigmas, como dijo Bernardo un día en una reunión en Dallas, «hemos cambiado los paradigmas». El paradigma era que el corazón estaba formado de unas células que

no se podían regenerar, y el nuevo paradigma es que el corazón está formado por unas células que sí podemos regenerar. Por tanto, ahora tenemos un nuevo paradigma y podemos afrontar el tema de una manera diferente.

EDUARDO PUNSET. Piero, es casi mágico. Sugieres que el corazón no es un órgano terminalmente diferenciado, sino que está en el proceso de diferenciación y podemos intervenir en él y hacerlo distinto.

P.A. Sí, es cierto.

E.P. Bernardo, sostienes que las células tienen dos formas de morir: la necrosis, que es muy sucia, y la otra es la apoptosis, el suicidio programado de la célula, que es limpia. ¿Tú trabajas con la célula sucia, en que se revienta la membrana o esperas a que la célula se suicide antes de intervenir? ¿Cuándo intervienes?

BERNARDO NADAL-GINARD. El concepto de muerte de las células del corazón por necrosis o por apoptosis, fue Piero el primero en anunciarlo y, por desgracia, mucha gente no quiso creerlo. De hecho, mucha gente sigue sin creerlo ahora, por tanto el mérito de la idea le corresponde a él. Pero una de las cosas que me parecen espectaculares en la regeneración por medio de células madre es que, normalmente, en los ratones, cuando se produce el infarto de miocardio enseguida se manifiesta la fibrosis, es decir que las células han muerto de la manera sucia, se ha producido la deformación del corazón y ha aparecido la cicatriz, la fibrosis, una cicatriz indeseable. Con las células madre no se desarrolla cicatriz, y significa que estas células han modificado el comportamiento y que lo que antes resultaba sucio ahora es limpio.

E.P. Quisiera que me contarais qué pensamientos acudieron a vuestra mente cuando visteis que esa célula madre —que procedía, creo, de la médula y se había inyectado en el corazón de un ratón— se enlazaba con tejido vital y funcionaba casi como cualquier otra célula.

B.N. Piero es quien debería responderte, porque era él quien estaba mirando por el microscopio, yo estaba a su lado. Parecía como si los ratones hubieran ido a Lourdes o a Fátima y se hubiera producido un milagro, como si de alguna manera hubieran obtenido un corazón nuevo.

E.P. Piero y Bernardo, ¿es incorrecto decir que si podemos calcular el tiempo que tardan estas células madre en regenerar un trozo de tejido, probablemente podríamos calcular cuánto se tardaría en regenerar un corazón o el cuarenta por ciento del corazón de un anciano, un moribundo o un enfermo?

P.A. Antes de darte yo una respuesta, me gustaría oír la opinión de Bernardo, ya que nadie conoce tanto como él la diferenciación de los miocitos.

B.N. Si hablamos de la media de infartos de miocardio, con los números que hemos visto —entre los que hay mucha variación, así que hay que tomar los datos con mucha precaución, porque los números no son muy precisos—, probablemente podamos regenerar gran parte de la cicatriz o del tejido muerto en un mes o un mes y medio, y en los infartos muy graves en dos o tres meses. No creo que necesitemos mucho más para reparar la mayor parte del daño producido en el miocardio.

E.P. Todavía no hemos hablado de medicamentos o productos farmacéuticos. Corrígeme si me equivoco: ¿estamos hablando de la posibilidad de regenerar el tejido coronario, simplemente, por medio del propio corazón? Es una especie de proceso autocurativo, de autocorrección, ¿verdad?

P.A. Sí, aunque quisiera hacer un comentario que quizás no debería hacer, pero que haré de todos modos. Nosotros nos orientamos hacia la terapia celular específica de ciertos órganos. Por tanto, estamos buscando, Bernardo y yo, y el laboratorio entero, la identificación y caracterización de una célula madre cardíaca. Me refiero a observar si tenemos en el corazón células primitivas y si, utilizándolas, podemos reparar el corazón mejor y más rápido que una célula madre hematopoyética. Porque, si se piensa bien, utilizamos una célula que ha sido programada para producir sangre: la ponemos en el corazón y le pedimos que produzca tejido muscular. Esta célula tiene, pues, que reprogramarse y cambiar completamente. Si existe una célula madre residente, una célula madre cardiaca, y llegamos a entender cómo se

mueve y regula, cómo podemos manipularla, seremos capaces de tener una célula lista para producir tejido muscular y reparar el daño en el corazón de manera más rápida y más eficaz.

B.N. Y la razón por la que Piero te está contando todo esto es porque él ya conoce la respuesta.

P.A. Tenemos observaciones preliminares.

E.P. Volvamos a tu experimento, en el que tú mirabas desde fuera y Piero miraba por el microscopio. Viste células que habían muerto después del ataque de corazón que había sufrido el ratón dos días antes, y un tejido que se había creado de nuevo…

P.A. En realidad, reemplazaba el área dañada.

E.P. ¿Cómo conseguiste saber o indicar el lugar exacto en que el tejido había resultado dañado para afirmar que las células nuevas habían surgido muy cerca de ahí y no muy lejos?

P.A. En primer lugar, por el procedimiento experimental, intentamos inyectar en la región vecina al infarto, para ver si las células madre hematopoyéticas eran capaces de migrar al tejido dañado y regenerarse. Y en segundo lugar, fue una sorpresa para todo el mundo —incluido yo mismo, que al principio era más optimista que Bernardo— que, al cabo de nueve días, el tejido regenerado ocupaba toda el área del infarto.

B.N. La distancia que recorrieron estas células es inmensa, como para un humano la distancia de la Tierra a la Luna. Y estas células saben dónde ir. Alguna señal en la cicatriz, en el tejido muerto, les indica que se dirijan allí. Es decir que las células van donde han de ir.

E.P. ¿Quién les dice a dónde ir?

B.N. Las otras células.

E.P. Es increíble. Olvidemos un momento el ratón y pensemos en los seres humanos. Simplemente nos adelantamos un poco a lo que sucederá dentro de un tiempo. ¿De dónde sacamos las células madre, o de dónde las sacaríamos?

P.A. No creo que haya que preocuparse por esto, porque ya se ha hecho. ¿Qué se puede hacer con un paciente con un cáncer metastático que necesite grandes cantidades de quimioterapia? Ahora se le inyectan

citostáticos y factores estimulantes, que conducen a la producción y proliferación de células madre en la médula espinal, y de ahí pasan a la circulación sanguínea. Entonces las recogen, las cultivan, las almacenan y las someten a quimioterapia intensiva y luego las inyectan en el sistema hematopoyético…

B.N. Es un transplante de médula a partir de las propias células del paciente. Así que siempre se han estado extrayendo células de la médula ósea.

E.P. Pero vuestra segunda gran aportación, si lo he entendido bien, es que se pueden extraer de una célula adulta.

P.A. Suelo decir que hemos tenido mucha suerte, porque utilizando una célula madre adulta hemos obtenido resultados, en cierto modo, sorprendentes e impredecibles. En la actualidad, parece que una célula madre hematopoyética adulta puede hacerlo en el corazón. Eso no quiere decir que vaya a suceder lo mismo en cualquier órgano y que necesitemos células madre de embriones en una situación concreta. Actualmente estamos utilizando células madre adultas, pero si en el futuro necesitamos células madre de embriones, también las utilizaremos. La idea es que hay que utilizar lo que sea necesario para prolongar la vida y curar las enfermedades.

Estos hallazgos de Anversa todavía son discutidos por la comunicdad científica. De manera paciente, año tras año, el equipo de científicos que más ha experimentado sobre el lenguaje molecular al que se refería Piero Anversa —la manera que tienen las células de hablarse unas a otras a la hora de diferenciarse o regenerar tejidos— es el que dirige Catherine Verfaillie. Es imposible sobrestimar el impacto renovador —podría decirse depurador— de la descodificación futura del lenguaje intercelular.

El mundo mediático, en cambio, ha resaltado con mucha mayor profusión la incidencia en el debate ético de la utilización, con cierto éxito, de células multipotenciales regeneradoras adultas en lugar de células madre embrionarias, por parte del equipo que encabeza la directora del Instituto de Células Madre de la Universidad de Minnesota. Tras muchos años de investigaciones experimentales, con las limitaciones apuntadas

antes por Eliane Gluckman, la profesora Verfaillie ha demostrado la potencialidad de las células madre adultas en el tratamiento de múltiples enfermedades humanas como el Parkinson, la diabetes, las hepatopatías o las enfermedades vasculares. El salto al vacío, afirmando que ya era redundante la experimentación con células madre embrionarias, la dieron muchos, sobre todo fuera de la comunidad científica, sin que ella jamás sancionara esta postura.

Terapias a nivel germinal

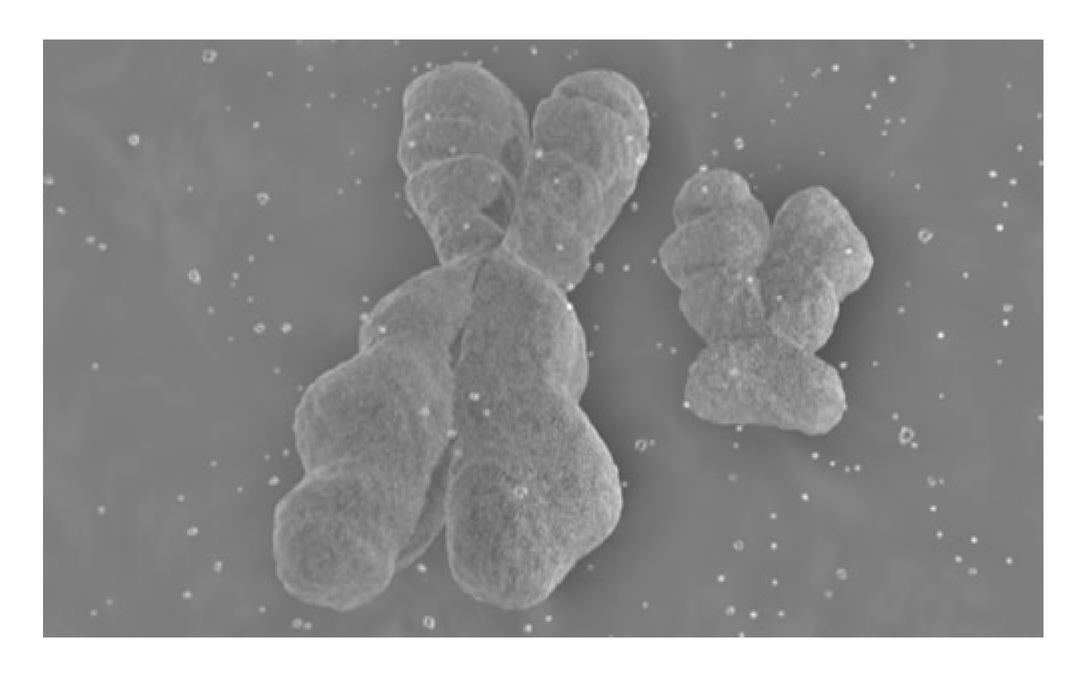
Miroslav Radman

«Somos el resultado de dos loterías: la de los genes y la del entorno.»

Este capítulo concluye, tras las controversias en torno a los magos practicantes en busqueda de las huellas de la salamandra, con la impresión no menos controvertida de un visionario. Miroslav Radman obtuvo el reconocimiento de la comunidad científica —ha sido nominado para el premio Nobel— por sus investigaciones sobre las mutaciones bacterianas. «Al contrario de lo que hacen los humanos —descubrió Miroslav— las bacterias mutan más en entornos turbulentos». En París, Londres y Girona, en largas sobremesas, solíamos explorar la aplicación de esta tesis darwiniana a la vida corporativa.

Hoy, Miro —como le llaman sus amigos— defiende en tribunas planetarias, en compañía de James Watson, el descubridor con Francis Crick de la estructura de la molécula del ADN en 1953, la necesidad de explorar mucho más allá de la regeneración de tejidos de individuos enfermos. Miroslav Radman defiende la postura de la intervención a escala de las células reproductoras, con la intención de que los beneficios terapéuticos —«Dios no quiera que los desperfectos», contestan sus adversarios— se extiendan generación tras generación. En un experimento con ratones se ha interferido con éxito en la línea genética germinal, es decir un gen defectuoso que se sustituye no en la célula adecuada para un ratón determinado y, por tanto, sólo para él, sino en las células reproductoras, de manera que será resistente al cáncer para siempre y, por supuesto, también sus descendientes. Según los medios de comunicación y muchos científicos, supone asumir un riesgo injustificado y

extremadamente peligroso. Pero antes, veamos las ventajas potenciales que derivarían de investigar en la línea germinal, en lugar de la terapia genética somática de cada paciente de forma individual.



Cromosomas. Los genes son los arquitectos del cuerpo.

MIROSLAV RADMAN. En la terapia genética somática, cuyo pionero fue Alan Fisher, mi colega de la facultad Necker, se introduce un gen funcional en las células del cuerpo de una persona enferma, de un niño enfermo, y entonces este gen funcional compensa el defecto con el que nació el niño, pero sólo en las células en las que hemos conseguido introducir este gen funcional. Las células se cultivan fuera del cuerpo, luego se reintroducen y parece ser que, a menudo, estas células producen tumores, leucemia. Este tipo de tratamiento enriquece las células que ya de por sí son un poco malignas. De manera que al extraer del cuerpo de un niño unas cuantas células premalignas, manipularlas y hacerlas crecer en cultivo, estas células se han enriquecido mucho. Luego se introducen en el cuerpo. Al final se corrige el gen funcional defectuoso, pero a los dos o tres años aparece una leucemia.

E.P. Todas las ventajas y desventajas revierten en el paciente.

M.R. Y si tiene hijos, la manipulación genética somática no afectará la línea genética del esperma o del óvulo, no se transmite. La manipulación genética del óvulo y del esperma, en cambio, se transmite de padres a hijos y nietos: se hace una vez y se transmite a toda la descendencia del futuro.

E.P. Y, ¿por qué crees que suscita tanta oposición?

M.R. Yo formaba parte de esa oposición hasta hace sólo un año. Es porque las personas son religiosas, aunque crean que no son religiosas en absoluto. Pero algo nos dice que hay o un Dios —si las personas son religiosas— o existe Gaia —el gran equilibrio de la naturaleza—, y no debemos interferir en esto. La verdad es que si algo terrible sucede, mientras no nos suceda a nosotros, nos es indiferente. La gente tiene miedo de cambiar algo que no ha sido cambiado por la madre naturaleza. Aunque ahora tengamos cerebro y lenguaje, no podemos cambiarlo. No queremos participar en la evolución humana, la gente no quiere ser partícipe de la evolución humana.

E.P. ¿Es comparable a lo que sucedió con la introducción de las vacunas o los antibióticos?

M.R. No es comparable, ya que ni el tratamiento con antibióticos u otros productos químicos ni las vacunas se transmiten a los descendientes. Es la ventaja, o el problema, de la persona que recibe el tratamiento somático: que no lo transmite a su descendencia.

E.P. Yo me vacuné, mi hija se vacunó, a mi nieta la han vacunado…

M.R. Pero si en lugar de vacunas introduces un gen en el esperma y si la actividad de este gen fuera equivalente a la vacunación, por ejemplo, contra tumores o agentes infecciosos, ya nunca más tendrías que vacunar a tu hija ni a tus nietas, porque la vacuna estaría en los genes.

E.P. Miro, si te dicen «no podemos comenzar por ese camino, porque en este momento no sabemos lo suficiente sobre las células madre ni, en realidad, la forma de hacerlo, y es posible que cometamos errores que conlleven arrastrar durante generaciones un defecto que nosotros habríamos introducido», ¿qué contestas?

M.R. Todo puede fallar, si caminas puedes caer fulminado por un ataque al corazón. En la realidad, no existe un seguro de vida y la condición perecedera del organismo forma parte de la naturaleza de la vida. Pero todo lo que sigue hasta siempre sigue hasta siempre, como los genes.

E.P. Somos como taxis que llevan a los genes un rato.

M.R. Exacto, y cuando ya no somos de ninguna utilidad se nos tira, como se desguazan los coches viejos.

E.P. Tú y otros biólogos habéis subrayado que no existe ninguna obligación evolutiva de cuidar de nuestra salud en el futuro, después de la reproducción.

M.R. La esperanza de vida media de una mujer se ha duplicado desde 1840. Ha pasado, aproximadamente, de cuarenta a ochenta años en Occidente. Y, sin embargo, no se ha prolongado la menopausia, sino que se ha acortado un poco. Es increíble. Y es muy regular, te puedo enseñar la curva, nunca se había visto en biología una cosa igual. Parece indicar que no hay un diseño genético para eliminarnos después del periodo reproductivo, a nuestro genoma no le interesa. Nuestro genoma pierde el interés en nosotros, ni siquiera nos quiere matar. Pero, evolutivamente, no tiene sentido alargar la vida acortando el periodo reproductor.

E.P. Miro, volvamos al futuro y dejemos de lado las modificaciones germinales, o la modificación de la línea genética. ¿Qué crees que ocurrirá en los próximos años? Una vez conozcamos la estructura de las proteínas, sus funciones y la interrelación entre los genes, las proteínas y el entorno, ¿existirá alguna posibilidad de que mediante reacciones químicas se creen partes de ADN que se puedan juntar para crear vida sintética?

M.R. Sí, yo creo que de vez en cuando es necesario dar un gran paso atrás y ver dónde estamos. Y en la investigación todavía es más necesario hacer un *zoom* hacia afuera que nos permita ver el trabajo en perspectiva. Si observamos la Luna, las estrellas, un poco de estiércol de vaca o a nosotros mismos, constatamos que todos estamos construidos de los mismos doscientos átomos. La única diferencia entre un montón de estiércol y yo es la forma en que los átomos están

dispuestos. En este sentido, sólo cuando el conocimiento se vuelve verdaderamente global se puede clonar cualquier cosa a partir de átomos y moléculas simples.

E.P. Y también tendremos miedo de esto.

M.R. Claro que tendremos miedo. Siempre hay peligros en la investigación de la naturaleza y la psique humana, y en las motivaciones. Es la investigación en curso más importante, mucho más importante que cualquier otra, más incluso que la del cáncer. ¿Cómo se puede comprender a las personas que sin tener ningún problema destruyen la vida de otras sin su consentimiento? Necesitamos saber cómo es nuestra naturaleza. Creo que en este punto, muy superficialmente, ya es muy útil saber que no somos tan libres como creemos, y que somos el resultado de dos inmensas loterías en las que no tenemos ninguna influencia. Una es la lotería de los genes, que se llama meiosis: cuando el espermatozoide y el óvulo se encuentran, todos los genes se mezclan en una cantidad tan astronómica que nunca, ni en miles de millones de años, un ser humano podrá reproducir. No podremos decir: «este espermatozoide es precioso y este óvulo es maravilloso, dejaré que se junten para ser yo». Nadie puede elegir el espermatozoide exacto o el óvulo exacto en una fertilización para ser uno mismo. Todos podemos nacer como Einstein, Watson o Carl Lewis, pero si nacemos con una minusvalía no es culpa nuestra. Nacer con unos genes especiales, con una energía y un talento extraordinarios no tiene ningún mérito. Es cuestión de buena o mala suerte en la lotería genética, porque no elegimos el espermatozoide y el óvulo.

E.P. ¿Y cuál es la segunda lotería?

M.R. Luego, con los mismos genes, el mismo espermatozoide y el mismo óvulo, está la lotería del entorno. ¿Quiénes son nuestra madre y nuestro padre? No podemos elegir a nuestros padres, ni el país en que nacemos, el idioma que hablaremos o la religión que nos enseñarán. Todo está impuesto, es una imposición de las loterías, de la lotería de los genes individual y del entrono. Luego están las potencialidades que podemos desarrollar, todo el espectro de la realidad de la vida postnatal: un individuo pedófilo, otro psicópata, un hambriento, otro

maníaco religioso… Todo se imprimirá en el cerebro del niño como si introdujéramos instrucciones en un ordenador vacío. Y es fruto del azar la elección de dónde naceremos y de quién seremos hijos. De ahí que crea que debiéramos preguntarnos cuánta libertad tenemos.

Capítulo XIII

Lo que viene II:

expedición al mundo invisible

Lynn Margulis

Dorion Sagan

Heinrich Rohrer

Nicolás García

Lynn Margulis, profesora distinguida del la Universidad de Massachusetts. Su teoría de la simbiogénesis predice que la variación genética heredada no proviene mayoritariamente de mutaciones al azar, sino que nuevos tejidos y especies evolucionan a partir de una relación intensa y longeva con otros organismos. Es esta fusión de genomas en simbiosis, seguida de la selección natural, quien nos lleva a individuos cada vez más complejos.

Dorion Sagan, hijo de Lynn Margulis y Carl Sagan, es escritor y un gran divulgador. Entre sus obras se encuentran temas tan variados como la microbiología, la neurociencia, las teorías de la complejidad y la filosofía de la ciencia.

Heinrich Rohrer recibió el premio Nobel de Física en 1986 por su participación en el diseño de microscopio electrónico de efecto túnel, que permite apreciar detalles a escala subatómica, durante su trabajo en el Laboratorio de Investigación de IBM en Zurich, Suiza.

Nicolás García dirige el Laboratorio de Física de Sistemas Pequeños y Nanotecnología del CSIC en Madrid. Este científico fue pionero en España en la investigación de la nanotecnología y trabaja en manipulaciones de los niveles atómicos y moleculares de la materia para crear nuevas estructuras.

La vida es como un tornado

LYNN MARGULIS Y DORION SAGAN

«Yo mantengo que personalmente conozco unas bacterias que son conscientes del campo magnético, que tienen unos imanes en el cuerpo.» (L. M.)

«La vida humana no sólo no está en el centro, no sólo no es un organismo diferente al de los animales, no sólo no está hecha de un material especial, sino que los propios procesos de la vida, la forma en que se comporta, los compartimos con los sistemas inanimados y materia.» (D. S.)

Pertenezco a una generación —ya camino del exilio— que ha roto definitivamente la maldición que hasta ahora sobrellevábamos por culpa de nuestro particular tamaño: una estatura demasiado vulnerable y diminuta para poder explorar las galaxias diseminadas por el Universo, y demasiado grande y grandilocuente para apreciar la vida más densa y poblada del mundo microscópico.

Pocos de nuestros coetáneos —distraídos con el tráfico y las faltas de ortografía— nos lo están agradeciendo. Seguramente porque la mayoría de ellos no han tenido, todavía, el privilegio de contemplar cómo —gracias al microscopio de dos fotones— los trillones de células que forman nuestras comunidades humanas van a su aire, de un sitio a otro, sin importarles lo más mínimo el Debate de la Nación que ellas ni perciben como trifulcas. Biólogos como Jeffrey Seagall, de Nueva York, están a punto de descubrir, gracias al uso de la técnica de imágenes intravitales —adhiriendo moléculas fluorescentes a las proteínas como la Proteína Fluorescente Verde (PFV)— que la guerra contra las células insolidarias generadoras de tumores será una guerra de comunicaciones. Resulta que las bacterias y las células son capaces de comunicarse entre sí hasta decidir por consenso un

emplazamiento determinado en forma de biofilm, de manera que se abre la vía para interferir con su sistema de comunicaciones cuando lo desentrañemos.

Puedo mostrar las fotografías colgadas de la pared de mi despacho del paisaje desolado de Marte, de células humanas subdividiéndose en dos, luego en cuatro, y en diez y seis, camino de aglutinar un blastocisto y luego un embrión, un feto y, finalmente, de mis nietas corriendo en la playa. O de un virus, «una mala noticia envuelta en una capa de proteína», como se les ha definido. Pero por encima de todo, puedo enseñar, gracias al microscopio de túnel ideado por el premio Nobel Heinrich Rohrer, fotografías de átomos, como había imaginado Demócrito cuatrocientos años antes de Jesucristo, que me regaló mi amigo el nanotecnólogo Nicolás García. Las reflexiones de ambos puede saborearlas el lector en este capítulo.

Cómo no aprovechar este intermezzo *casi estival para sugerirle al o la ministra de Educación del Gobierno de la Nación que los niños puedan ver, nada más entrar en las aulas, la fotografía de un átomo con sus electrones, que forman sus células y sustentan sus cuerpos infantiles. Junto a la foto del Rey y el crucifijo, si se quiere. Porque los átomos y las células nos sujetan al mundo de lo ínfimo y de lo diminuto al que pertenecemos*.

El científico que mayor inteligencia y pasión ha consagrado a la comprensión del mundo microbiano es Lynn Margulis. A ella —junto a Dorion Sagan en su famoso libro ¿Qué es la vida?— *corresponde haber abanderado la diversidad inaudita del universo microbiano. Los microbios no sólo serán nuestros herederos en el caso de que una sexta extinción fulmine a los organismos multicelulares y complejos como nosotros, sino que ya son propietarios y gestores del sistema global. Sin el mundo microbiano la vida no podría existir.*

La bióloga Lynn Margulis, profesora de la Universidad de Massachussets, y Dorion Sagan, hijo de Lynn y Carl Sagan, el famoso astrónomo y divulgador, han escrito múltiples libros de divulgación científica que intentan explicarnos qué es la vida y el sexo, así como cuál es

la fuente de la variación genética heredada que puede dar origen a nuevas especies, una de las grandes dudas en la teoría evolutiva que Darwin propuso.

DORION SAGAN. Partamos del argumento de que se han dado sucesivas revoluciones copernicanas deconstructivas. La primera fue contra la idea de que la Tierra estaba en el centro del Universo y todo daba vueltas a su alrededor, y el hombre era un ser supremo. Pero ahora sabemos que la Tierra es sólo un planeta, además, del exterior de una galaxia. La segunda gran deconstrucción, o revolución, fue la de Darwin, que relacionó a los seres humanos con todas las formas de vida: ya no éramos especiales con relación a otros organismos, sino que un simple animal.

EDUARDO PUNSET. Y ni siquiera estábamos aquí al principio de todo.

D.S. No, no estábamos en los orígenes. Y no sólo somos como los primates, sino que también somos como las células. Nuestros cuerpos contienen células y son, fundamentalmente, muy parecidos a formas de vida celulares que consideramos inferiores.

E.P. Lynn, ¿qué te parece? ¿Crees que en la comunidad científica se ha comprendido y aceptado el hecho de que no somos el centro del Universo?

LYNN MARGULIS. Claro que no, todavía existe una gran desconexión entre los hallazgos científicos y el gran público. La gran mayoría de los científicos creen, en el fondo de su corazón, que es obvio que los seres humanos estamos en el centro, que somos más inteligentes, que dirigimos el sistema y somos independientes —una palabra muy política—, pero la gran mayoría de personas no son independientes. Dependemos por completo de las plantas y de otros organismos para la alimentación y el suministro de aire. Yo considero que hay una gran desconexión entre lo que se ha demostrado científicamente y lo que la gran mayoría de gente cree.

E.P. Es cierto que, a pesar de esas revoluciones científicas a las que aludía Dorion, la gente se sigue comportando como si realmente fuera el centro del Universo, ¿verdad? ¿Sucede lo mismo con la segunda

revolución? Quiero decir que cuando se dice que somos primates sociales, que no estábamos en los orígenes de la vida, que somos la última gota de la última ola del inmenso océano cósmico, como decía Gould, ¿creéis que la gente es coherente con ello?

D.S. Creo que uno de los problemas para que las ideas científicas sean populares es la afirmación de que los seres humanos no son especiales: la ciencia tiende a desdeñar el hecho de que tenemos la sensación de estar vivos e ignora, también, el hecho de que nos sentimos como si fuéramos el centro. Un místico medieval dijo que «el centro está en todos los sitios y en ninguno». Las cosas son más complicadas. No basta con decir que no somos el centro. Para Pitágoras, «el hombre es la medida de todas las cosas». Quizá desde el punto de vista de estas dos primeras revoluciones podríamos corregir a Pitágoras y decir que «el cosmos es la medida de sus hombres y mujeres». Verás, hay una dialéctica interesante ya que la ciencia tiene un tabú: no se puede mirar a la naturaleza como una forma humana, no se la puede volver antropomórfica, pero a la vez nos damos cuenta, especialmente con Darwin, de que tenemos que conectar al ser humano con el resto del Universo, especialmente en el tiempo. Pero si nos conectamos excesivamente al resto del Universo corremos el riesgo de convertir al Universo en humano. Por esto digo que deberíamos retomar la vieja idea de que «el hombre es la medida de todas las cosas», que todavía tiene algo de cierto, a pesar de esas revoluciones, y darle la vuelta, y mirar el Universo como íntimamente relacionado con el ser humano.

E.P. Y, ¿crees que nos ayudaría a poner punto final al debate interminable sobre qué nos diferencia de otros animales y otros organismos vivos? El fin de semana pasado comí con un científico y no se cómo nos encontramos otra vez inmersos en esta discusión sobre cuál es la gran diferencia. Primero, se dijo que era la capacidad de fabricar máquinas-herramientas, hasta que se supo que los chimpancés también fabrican palancas y zapatillas. Otros dicen que es el lenguaje, pero los delfines también pueden hablar, y las células se comunican. Después se aduce

la capacidad simbólica o la conciencia. ¿Tengo razón al considerar el debate sobre la diferencia con el resto de los organismos vivos como una serie de argumentos que sucesivamente son refutados?

D.S. Yo creo que sí que se puede decir que somos diferentes de otros organismos, en parte por la capacidad de construir frases. Si examinas el cerebro y la cantidad de masa que tiene, y la comparas en porcentaje con otros organismos, los seres humanos somos muy diferentes del resto. Tenemos la llamada materia gris —gris es el color cuando se muere, cuando se está vivo es más bien rosado—. Tenemos esta materia rosada que contiene neuronas que están conectadas con otras neuronas, mientras que en la mayoría de especies animales las neuronas están conectadas directamente con el centro. Gracias a nuestras neuronas conectadas con otras neuronas, puedo estar a tu lado sin que tú te des cuenta de que estoy aquí porque tú estás absorto pensando en tus cosas y estás básicamente programando tu cerebro. Mi respuesta a esta pregunta es que cada especie es especial y diferente, y que nuestra diferencia reside en la habilidad que tienen nuestras neuronas de conectarse.

L.M. Sobre esto tengo que decir —y no es original, ya que lo plantea Reg Morrison en su libro *The Spirit in the gene*— que una de las diferencias más grandes que existe entre las personas y los chimpancés —los babuinos y otros animales a los que nos parecemos mucho— es la creencia de que somos superiores, mejores, únicos, especiales, similares a Dios. Esta creencia, que es tan humana, ha supuesto una ventaja selectiva, ya que hemos sido capaces de poblar el planeta, de llevar la sabana africana a los Polos, de cambiar los entornos naturales para que se asemejen al entorno original africano, con una gran flora y temperaturas moderadas. Hemos sido capaces de llevar este tipo de entorno a la Alaska polar. Es este sistema de creencias lo que para mí es la selección evolutiva.

E.P. Pero Dorion dice que no sólo es el sistema de creencias sino que las neuronas funcionan de una forma diferente.

L.M. Es la base física del sistema de creencias. La materia rosada del córtex cerebral está llena de ese ensimismamiento humano.

E.P. Se decía que la conciencia era una condición del ser humano, se decía «son conscientes». Pero hace años te oí decir que las bacterias también son conscientes. Es extraño, porque has sido bastante heterodoxa en muchas cosas. Y alguna de las cosas que formulabas de esa forma tan heterodoxa hace años parece ser ahora admitida por todos.

L.M. La conciencia significa muchas cosas, y estoy segura de que Dorion querrá decir algo sobre esto. Pero si miras en el diccionario, la palabra conciencia significa darse cuenta del entorno, de lo que te rodea, pero ¿por qué? Porque si una persona recibe un golpe en la cabeza está inconsciente y cuando recobra la conciencia se da cuenta de lo que la rodea. Existen unas bacterias que son conscientes del campo magnético, que tienen unos imanes en el cuerpo. Tú no eres muy consciente de los campos, ni la mayoría de animales. Existen bacterias que son conscientes de los ácidos, la sal, la temperatura y muchas otras cosas: son mucho más sensibles que nosotros hacia ciertas cosas. Pero cada organismo posee unas características específicas, y la conciencia debe estudiarse por el comportamiento. La conciencia —su medida— se manifiesta por un movimiento, y éste es otro problema.

E.P. Probablemente ocurra lo mismo con el cerebro, ¿verdad, Dorion? El primer organismo que tuvo cerebro es el que lo necesitó para moverse, para ir a algún sitio. Si quería moverse, necesitaba un cerebro para planificar un poco.

D.S. Si se habla de cerebros, probablemente tendremos que hablar de cabezas y, si hablamos de cabezas, nos encontramos con las primeras cabezas, antes de la explosión precámbrica, hace unos quinientos o seiscientos millones de años. Es probable que los organismos de un tamaño determinado, que tenían ventaja por ser más grandes, reconocieran a otros organismos como comestibles, lo que significaría un desarrollo del cerebro para devorar a otros organismos.

E.P. Lynn, tú elaboraste los conceptos de simbiosis y simbiogenética. Sostienes que a nuestras células primitivas llegó un extranjero dispuesto a compartir tareas a cambio de algo.

L.M. Si te refieres a los componentes de las células de las que estamos hechos, sin duda. Pero sigamos con el tema de la conciencia. La sensitividad al entorno y el reconocimiento de la comestibilidad de los alimentos son primitivos, están presentes desde el primer momento, ya que sin el flujo de los alimentos y la energía ningún sistema puede vivir. Se puede hablar de un sistema vivo, pero en realidad es un sistema de flujos. Tenemos el sentido de movernos hacia los materiales comestibles, que pueden ser aminoácidos en solución, o cualquier cosa. Los organismos se mueven hacia lo comestible y se alejan de los desechos, de cosas en descomposición; tenemos movimiento direccional y aparece en bacterias anteriores a la respiración, a las cabezas y las bocas. Me refiero a hace tres mil quinientos millones de años. Y luego se produce una innovación en el mundo vivo, que implica la capacidad de envolver o fagocitar: una célula puede engullir a otra célula y destruirla para alimentarse. La lección es que nosotros no comenzamos nuestra evolución con un animal, porque sería como comenzar la historia de la humanidad por la televisión —aunque es un anacronismo falso, ya que la televisión es muy reciente—. Por tanto, la historia de la humanidad no se inicia con la televisión, ni se debe empezar con la historia de la evolución, ni con la humanidad, ni los animales, porque son demasiado recientes.

D.S. Una cosa interesante cuando estudiamos la evolución desde el punto de vista del zoólogo está relacionada con la forma en que las especies divergen. La gente sólo piensa en un segmento muy reducido de la historia reciente, que tiene que ver con la evolución animal. Sin embargo, lo fascinante es que no siempre hubo especies. Las bacterias no tienen especies. Se intercambian el cinco por ciento de sus genes, o quizá el ochenta y cinco, salen y entran, no necesitan aparearse para la reproducción, no tienen una reproducción sexual, no son especies en el sentido que nosotros tenemos de los animales. Partiendo de estas premisas, podremos analizar cuáles son las principales transiciones de la evolución, sin obcecarse con la división por especies que sería, por si misma, una transición. Yo diría que la primera es el origen de la vida, y con el origen de la vida el origen de las bacterias: básicamente

sería cómo se obtuvo la primera bacteria. ¿Cómo se obtiene vida de lo inerte, si es posible? Y luego, ¿cómo se obtienen células como las nuestras, las de la ameba y el paramecio, que son un tipo de células que tienen cromosomas, si la bacteria no tiene cromosomas? ¿Cómo se obtienen estas células grandes, llamadas eucariotas? La respuesta —que Lynn ha demostrado con pruebas genéticas— es porque las bacterias se juntan: se comen las unas a las otras, como ha dicho antes, pero no se matan, sino que viven y se desarrollan: ésta es la segunda transición, la de células más grandes con núcleo, cromosomas, mitocondrias y restos de bacterias. La tercera transición es la multicelularidad. Una vez tenemos estas células grandes, que son como amebas, y más grandes que las bacterias, ¿cómo se juntan y se crea la primera vida animal, las ciudades multicelulares, las colectividades, los organismos, las organizaciones, los superorganismos de células? Yo diría que la cuarta transición, de la que creo que formamos parte en estos momentos, en la que existe este tipo de mamífero —que podría interpretarse como un enfoque egocéntrico o arrogante—, es aquella en que los humanos se juntan para formar un superorganismo a escala global que va más allá de un animal común. Éstas son las grandes transiciones, que no tienen nada que ver con las especies divergiendo, sino casi lo contrario, juntándose.

E.P. ¿Por qué pensamos ahora en la vida como un fenómeno conectado a la física y la química? Quizá podamos despertar la tercera gran revolución, ¿verdad? Dorion decía que se basa en deconstruir la antigua idea de que la materia de la vida es diferente. La vida tenía una especie de materia vital —como dijo Henri Bergson— especial y única.

D.S. Sin embargo, se descubrió que la materia de nuestro organismo está hecha de carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, sulfatos y fósforo, y que el elemento más común en nuestro cuerpo y en el Universo es el hidrógeno. Por tanto, si seguimos con el argumento, estamos hechos de la misma materia. De manera que la negación de que la vida está hecha de algo especial, es otra deconstrucción revolucionaria: no estamos en

el centro geográfico, ni somos superiores a los animales —somos como ellos— y no tenemos ninguna materia especial. Y, sin embargo, seguimos sintiéndonos especiales.

E.P. Ha llegado el momento de hablar de la cuarta deconstrucción. No sólo estamos hechos de sustancias que, como dice Lynn, valen cuatro perras, como carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno, sino que también estamos hechos de la organización precisa de estos materiales.

D.S. Creo que antes ya se ha apuntado la cuarta deconstrucción, que está relacionada con la pregunta sobre el origen de la vida.

L.M. Verás, la idea del caldo prebiótico apareció y desapareció. No hay ningún especialista que todavía crea eso del océano, de una especie de mezcla de caldo diluido de sustancias químicas que se juntaron al azar. Déjame que te explique de forma rápida un experimento, el del meteorito Rochester que cayó en Australia en 1969 o 1970. Se tomaron muestras de ese meteorito y se extrajeron materiales grasos, lípidos. De forma espontánea, estos meteoritos crean unas gotas que si se irradian con luz solar, recogen materiales orgánicos en su interior. Nadie dice que sea vida, pero la idea de que existe una identidad de membrana cerrada desde el principio, y la capacidad de tener estos ciclos de productos químicos regenerativos dentro de un sistema cerrado no sólo es correcta sino que nuevos experimentos la avalan. Por tanto, desde el principio, el ADN evolucionó dentro de las células, igual que ahora sabemos que sucedió con la clorofila —aunque antes se dijera que venía de fuera del espacio—. La clorofila, la fotosíntesis, evolucionó en el interior de las células. Para el gran público, el origen de la vida es el origen de los perros, pero es una tontería, sabemos que mucho antes de que existieran los perros ya había vida. Desde el principio, los sistemas no estaban completamente aislados, aunque sí eran cerrados. No estaban abiertos, pero… ¡sí, estaban abiertos! Estaban abiertos para dejar que el material energético fluyera, pero tenían identidad. La identidad estaba encerrada como en las células, como pre-células, y la vida ha evolucionado dentro de estos sistemas de membranas flexibles.

D.S. La cuarta revolución es más y menos interesante que las otras porque todavía no ha sucedido. Resumiría la cuarta deconstrucción copernicana diciendo que la vida humana no sólo no está en el centro ni es un organismo diferente al de los animales ni está hecha de un material especial, sino que los propios procesos de la vida, la forma en que se comporta —incluyendo la idea de inteligencia—, los compartimos con los sistemas inanimados y la materia. Déjame que te ponga un par de ejemplos. Retrocedamos un poco: uno de los grandes problemas de entender la vida de esta forma energética es que nuestro entendimiento de la ciencia de la energía —la termodinámica— estaba basada en la revolución industrial y en el estudio de sistemas aislados: eran fáciles de observar, fáciles de experimentar pero, en realidad, no eran representativos de los complejos sistemas del mundo real. Cualquier sistema aislado en que la energía no tiene que entrar tendrá caos —caos en el sentido original—, pero los sistemas reales no son cajas de experimentación aisladas. Los sistemas como yo, tú o las estrellas tienen energía que entra y sale, que fluye. Una vez entendamos esto podremos comprender la complejidad.

E.P. Sugieres que incluso cuando se estudia la vida como un proceso, no es diferente a otros procesos.

D.S. Es diferente a otros procesos sólo cuando se estudia la versión original de la segunda ley de la termodinámica, que dice que las cosas tienden al caos. Estaba basado en sistemas aislados, pero la vida no es un sistema aislado, sino abierto, de modo que debemos reformular la segunda ley de la termodinámica de la siguiente manera: «La vida aborrece, odia, un gradiente». Un gradiente es la diferencia científica que se puede medir a través de una distancia. Y cuando surgen estas diferencias, y lo permiten los imperativos reinantes, se pueden tener sistemas complejos que se forman espontáneamente y que son cíclicos. El mejor ejemplo que te puedo poner es el del tornado. En un sistema de alta presión y baja presión, un gradiente de depresión barométrica en la atmósfera, el tornado —o un huracán, sobre el océano— puede empezar a existir haciendo círculos. Si lo estudiamos, no es un sistema químico, ni biológico, sino que es un sistema físico y complejo, nunca

se podría esperar que pudiera suceder por la interacción de partículas al azar. Además, tiene una función, eliminar esta organización anterior en su entorno. Si estudiamos un tornado, parece que esté auto-organizado, pero en realidad tiene una entidad propia, de yo —si se piensa, ¿por qué bautizan a los tornados con nombres propios como Gertrudis?—. El yo tiene unas características personales que reconocemos, pero esta entidad propia del tornado le viene del exterior, del entorno: es el entorno el que organiza, le organiza para eliminar las organizaciones preexistentes. Si partimos de este ejemplo y pensamos en la vida, constatamos otro sistema complejo que también es cíclico. Pero esta vez los ciclos son químicos en vez de físicos. Podemos estudiar el entorno de la vida, que no se parece en nada a una pequeña caja aislada, sino que se desarrolla en el Universo, y está abierto y utiliza la luz solar. La diferencia, que se puede medir, entre el Sol caliente —una energía solar de alto poder— y el espacio vacío, oscuro y frío que utiliza la vida, es que la vida se alimenta de ese gradiente, y produce polución y residuos, y se hace más compleja, de la misma forma que el tornado. Y de la misma manera que la función del tornado es disipar y destruir los gradientes barométricos medioambientales de presión, también se puede argumentar que la función de la vida es eliminar el gradiente electromagnético o solar.

E.P. Y como ocurre con el tornado, la vida desaparece.

D.S. Si no hubiera el Sol, no existiría la vida. Si la vida pudiera hacer lo que quisiera y tuviera los recursos disponibles, cogería toda la materia, se la apropiaría y utilizaría la energía solar para hacerla propia. Pero la vida no puede hacer estas cosas. Y esta situación provoca un gran dilema ético, ya que debemos nutrirnos de otros organismos —y tenemos conciencia para saber que nos podemos alimentar, desgraciadamente, de cosas que también tienen conciencia—. Y podemos empatizar y reconocerlo, y así surge un pequeño problema.

L.M. Eric Schnider y Dorion Sagan han explicado en su libro *Into the Cool. The Thermodynamics of Life* estas ideas, y es una buena manera de responder a la cuestión que la ciencia tenía pendiente desde hace mucho tiempo. Si la termodinámica dice que el Universo se encamina

hacia una muerte por calentamiento, que el Universo se acaba —es obvio por nuestra experiencia de la evolución, ya que los organismos tienden a hacerse más complejos—, aparece una contradicción: Ernst Mayr y otros dicen que la biología se ha liberado de la física y la química; en cambio, Schnider y Sagan argumentan que no y sostienen que la biología es otro ejemplo de la termodinámica. La fuente de energía es el Sol, la materia es un material familiar, y la vida tiene algo que la hace muy persistente: desde el origen de la vida —hace cuatro mil millones de años— podemos seguir el rastro de un sistema continuo de termodinámica. Esto coincide con una idea de Darwin: a cualquier espécimen de hoy se le puede hallar un antecesor común en el pasado. Por tanto, la vida es un sistema termodinámico, complejo, y aquí está el *quid* de la cuestión: las personas hablan —de forma incorrecta, como han demostrado Schnider y Sagan— de autoorganización. Es un disparate: el *self* (yo) no organiza, son otros los que lo organizan. ¿Por qué? Porque para cada entidad propia existe una fuente de energía y materia fuera del sistema. Está claro que ésta es la cuestión: a los seres vivos siempre se les tiene que identificar una fuente de energía —química, electromagnética o solar— y una fuente de materia que alimente al yo, por tanto el concepto de sistemas autoorganizados está equivocado.

D.S. Creo que se debe hacer una puntualización ya que, de alguna manera, la vida es más *self-centered* y *self-organising* que otros sistemas. La vida ha sido capaz de almacenar la energía química en sus células para poder utilizarla más tarde, y está regida por un sistema químico muy complejo ya que tiene una existencia de cuatro mil millones de años. El tornado sólo vive durante unos cuantos días; por tanto hay una diferencia enorme.

La conciencia de los átomos (I)

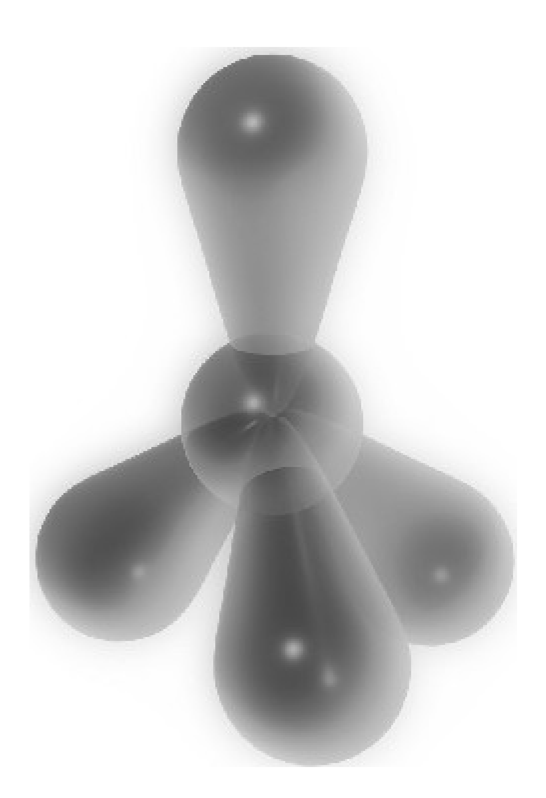
HEINRICH ROHRER

«Una molécula reconoce a otra; no reconoce a la otra molécula gracias a un equipamiento fantástico. Éste es uno de los principios básicos de la nanotecnología: reconocer lo que es pequeño por medio de lo que es pequeño.»

*Pertenecemos al mundo de lo pequeño. Tal vez por ello, no fue casualidad que primero se inventara el microscopio y sólo después el telescopio cuando, muy lentamente, nos acostumbramos a mirar los grandes cuerpos celestes. El primer paso para penetrar en el mundo de lo pequeño fue el microscopio óptico y, a partir de él, el telescopio inventado por un holandés que supo utilizar inmediatamente Galileo. En esta carrera hacia el mundo invisible, el gran hito fue el descubrimiento de las bacterias y el microscopio. Entonces se creó, verdaderamente, la biología y la medicina especializada. Les siguieron los microscopios electrónicos y atómicos. La última barrera que impedía ver las partículas fundamentales de las que está hecho el Universo se derribó gracias al STM (*Scanning Tunneling Microscope*) vinculado al nombre de Heinrich Rohrer, que en 1986 recibió el premio Nobel de física por sus trabajos en los laboratorios de IBM en Zurich. El microscopio de túnel no sólo permite observar el mundo de las moléculas y los átomos sino que, además, permite trabajar a ese nivel, procesar esta información*.

EDUARDO PUNSET. Vayamos al mundo de los modelos. Uno de tus predecesores, el físico americano Feynman, dijo: «Quiero llegar hasta el final, quiero llegar hasta los átomos y verlos». La idea es que si se descubre cómo se relaciona un átomo con otro átomo —y nosotros

estamos formados de átomos, somos átomos y moléculas—, entonces sabremos de qué trata la naturaleza. ¿Es cierto, o seguimos sin saber de qué trata?



Átomo. Si las bacterias tienen conciencia de sí mismas, ¿por qué no la han de tener los átomos?

HEINRICH ROHRER. Creo que es muy complicado. La naturaleza es muchísimo más complicada y conocer los átomos no soluciona las operaciones de sistemas complejos que están formados de átomos, aunque creo que los átomos son básicos. Es necesario comprender cómo se comportan en ciertas circunstancias, y creo que es el nuevo reto de la nanotecnología para aprender más sobre sistemas formados por átomos que se pueden utilizar para objetivos muy específicos. Pero existe un gran paso adelante desde los átomos hasta el sistema de la naturaleza.

E.P. Pero para tener un sistema se necesita un autoensamblaje y una autoorganización de átomos. Y una vez que se pueden ver los átomos, ¿cómo se procede para autoensamblarlos y autoorganizarlos?

H.R. Creo que es un programa muy ambicioso. Nosotros no analizamos cosas que se autoensamblan, ya que dejarían de autoensamblarse. Podemos escrutar ciertas estructuras y preguntarnos por qué lo hacen de esta manera. Pero creo que si queremos crear un sistema, no podemos imitar a la naturaleza, porque la naturaleza ha tenido un millón de años de tiempo para pensar sobre el concepto de autoensamblaje. Por otra parte, si queremos realizar algo no podemos esperar hasta que todo esté ensamblado, es decir que tenemos que colaborar en el ensamblaje. Creo que es uno de los grandes retos actuales, ya que entendemos bastantes cosas sobre el autoensamblaje y los mecanismos, pero si queremos formar un sistema tenemos que ser capaces de generar un proceso de autoensamblaje. Pero todavía no sabemos cómo hacerlo. Quizá sea posible en unas circunstancias muy burdas, ciertos expertos dicen que se pueden utilizar nanotubos de carbono como los conectores base entre un transistor y otro, en vez de tener un cable de cobre. A mi juicio, es posible que hasta cierto punto sea cierto, pero no soluciona nada si no se puede crear el tubo de carbono *in situ*. No se pueden colocar millones y millones de tubos de carbono en el lugar correcto. Es decir que hay que iniciar un proceso de crecimiento o de ensamblaje en el lugar específico, que se desarrolle de la forma en que queremos que lo haga. Y creo que es uno de los grandes retos de la nanotecnología, la ciencia de los materiales y la ciencia de los nanomateriales, y creo que estamos muy lejos todavía, pero la ciencia necesita grandes retos.

E.P. Imagino que debe ser bastante irritante para un científico ver que las moléculas se autoensamblan, es decir, que una se fija con la otra, y otra con otra, hasta formar un sistema complejo, y dado que ya se conoce la naturaleza básica de las moléculas, que son los átomos, y gracias al microscopio STM y a otros, se pueden identificar las imágenes. Y sin embargo, como dices, no somos capaces de provocar estos mecanismos de autoensamblaje, pero sí en el futuro, ¿verdad?

H.R. Creo que estás en lo cierto. Es uno de los caminos a seguir, por supuesto, y probablemente nunca dependeremos exclusivamente del autoensamblaje. Quizá crearemos modelos por miniaturización, que es

la forma en que trabajamos ahora en microelectrónica en que diseñamos muchos procesos de nanoelectrónica. De manera que, probablemente, usaremos unos procesos híbridos en los que fabricaremos un escenario miniaturizado, por litografía, y en estos modelos empezamos a desarrollar, por autoensamblaje, los detalles más pequeños.

E.P. Porque cuando pensamos en el autoensamblaje y la autoorganización de átomos, digamos la supervisión de autoensamblaje y autoorganización de átomos, ¿es con la intención de crear ciertos productos o sólo con fines de investigación científica? ¿En qué tipo de productos estamos pensando?

H.R. Creo que en estos momentos, en nanoelectrónica, muchas personas se están aproximando a circuitos electrónicos y a nuevos componentes más allá de los transistores, o a diferentes tipos de transistores, con nuevos componentes. Desde mi punto de vista, probablemente, la nanotecnología será un espacio donde hacer las conexiones entre el mundo virtual del procesamiento de datos —éste para mí es un mundo virtual— y el mundo real de la acción. Quiere decir que la nanotecnología proporcionará unos sensores fantásticos. En otras palabras, todo procesamiento necesita de una entrada y, finalmente, se necesita hacer algo con lo que se ha procesado, una salida, crear una acción. De momento existe mucho procesamiento y comunicación de la misma cosa, pero creo que en el futuro se dará la toma de contacto con el mundo real, tanto en la percepción como en la actuación. Aquí es donde la tecnología estará en su lugar. Durante diez o quince años, todavía podremos hacer lo que estamos haciendo ahora pero en más pequeño. Ahora todavía pensamos en términos de un ordenador cuando hablamos de un pequeño circuito, pero es posible que no sea en esto en lo que la nanotecnología esté optimizada. Estará optimizada cuando haga la conexión entre el mundo del procesador y el mundo real. Ésta es, por ejemplo, una de las características más interesantes de la nanotecnología, el tamaño de las moléculas. Mira cómo funcionan las moléculas en nuestro cuerpo. Una molécula reconoce a otra, pero no gracias a un equipamiento fantástico: se usa una molécula

para reconocer a otra. Y yo diría que es uno de los principios básicos de la nanotecnología: reconocer lo pequeño por medio de lo pequeño, como la naturaleza y el STM. Con el STM, un átomo reconoce a otro átomo que hay en la aguja si se acerca lo suficiente. Es el principio del STM: se reconoce un átomo por medio de otro átomo. Podemos reconocerlo de varias maneras. Por medio de la corriente inducida, como en el microscopio de túnel o, por ejemplo, se puede coger una molécula de aquí y otra molécula de allí y observar cómo se juntan, de manera diferente según los diferentes tipos de molécula. Y así se crea una sensibilidad molecular individual. Es uno de los desarrollos clave de la nanotecnología.

E.P. Y ¿adónde puede conducir? ¿Se podrá aplicar a la biomedicina?

H.R. Se puede aplicar a cualquier campo. Por ejemplo, puedo imaginarme llevando encima un sensor muy pequeño que, inmediatamente, perciba cuando alguien que está cerca de ti tiene la gripe, de manera que al final dejaría de ser un problema. Creo que seremos capaces de hacerlo, pero también hay que pensar en las consecuencias. Ahora hablamos de toda esta información que somos capaces de reunir. Y es como decir que la gente ya no tiene vida privada, porque se sabe todo acerca de las personas: es una de las perspectivas que se abren con los ordenadores. Esto es una cosa, pero imaginemos que podemos saber inmediatamente el estado de salud al encontrarnos con alguien. Entonces, ¿cómo reaccionamos? Tendremos que tomar una decisión. ¿Cómo reaccionar si sé que una persona tiene una enfermedad determinada? ¿Ha llegado el momento de aislarla? Es una pregunta mucho más difícil, una cuestión de mayor significación que, por ejemplo, la privacidad de los datos.

E.P. Has escrito que la nanotecnología abre grandes perspectivas y grandes temores. Es una cuestión que exige ser reflexionada.

H.R. A pesar de los temores, creo que deberíamos pensar en el tema a conciencia porque tenemos que aprender a manejar bien las cosas. Yo diría que, a fin de cuentas, si se observa el progreso de la ciencia y la tecnología en los últimos doscientos años, el mundo todavía no ha sido destruido. Creo que exagera la gente que proclama la destrucción del

mundo y que teme el fin de la humanidad. Debemos tener confianza en que la gente no sólo se vuelve más inteligente, sino también más sensata. Aunque a veces nos asalten las dudas.

E.P. Lo interesante de tu trabajo es la continua insistencia en el enfoque multidisciplinario. Dices que ya no se trata de microelectrónica o de nanoelectrónica, sino de procesamiento molecular general, ya sea en la mecánica, la cuántica, la electrónica o la biología. Heinrich, si analizamos la inteligencia de los animales, descubrimos que es un tipo de inteligencia por asociación. Acabas de aludir a esa capacidad de asociación a través de información para asociar simultáneamente una cosa con la otra. Quiero decir que colegas tuyos como Nicolás García dicen que la inteligencia surgirá de este enorme volumen de información, ¿estás de acuerdo?

H.R. Es correcto. Se necesita mucha información para la inteligencia. Si observamos cómo se desarrolla la inteligencia, un niño pequeño todavía no tiene inteligencia, pero recoge la información y la almacena. Se desarrolla de cierta forma, y nosotros ya estamos a este nivel, y uno de los retos es cómo podemos superarnos. Pero no sé si tendremos máquinas que realicen un trabajo creativo. Pero se pueden construir máquinas que puedan actuar de forma más activa que en la actualidad.

E.P. Cuando se desciende a esta escala, a este límite, y se entra en el mundo cuántico, las cosas se comportan de manera muy distinta, la misma partícula se dirige a dos polos diferentes. ¿Crees que será un problema real?

H.R. Es, probablemente, uno de los grandes retos de la nanotecnología: poder explotar el comportamiento mecánico cuántico mejor que a microescala o a macroescala. Creo que es posible, pero todavía es un reto. En la actualidad ya estamos explotando la mecánica cuántica de una forma más obvia que la macroescala. Cada átomo se comporta de una manera cuántica, es decir, que la mecánica cuántica es inherente a cualquier parte de la materia. Pero no es obvio el comportamiento cuántico de las propiedades de cualquier materia. Si se coge una gran piedra y se lanza, se puede calcular con la mecánica normal, no hace

falta la mecánica cuántica. Pero en una escala muy pequeña, tiene un papel muy importante. Por ejemplo, si tenemos un cable muy fino y un punto de constricción, que es lo que está investigando Nicolás García, entonces el transporte en este punto es de naturaleza cuántica, y se puede trabajar con esto.

E.P. Ser capaz de controlar, de alguna manera, la materia condensada —tanto viva como muerta—, un átomo tras otro, abre un gran abanico de posibilidades. Pero centrémonos en una cuestión que todavía no hemos tratado. Cuando pensamos en organismos vivos, pensamos en ribosomas, que construyen proteínas según las instrucciones del ARN. Una vez hemos desarrollado la capacidad de controlar los átomos, uno tras otro, ¿podemos imaginar, o es una gran tontería, la posibilidad de analizar los átomos de estas instrucciones del ARN y cambiarlas? ¿Podemos cambiar no sólo la naturaleza en sí, sino las instrucciones que tiene la naturaleza para construir organismos, o la naturaleza?

H.R. Un colega mío está convencido de que las leyes físicas pueden ser también un signo de espíritu o de inteligencia. Si vamos más allá, todo está formado por átomos, pero ¿nuestra forma de pensar es simplemente un proceso químico en el cerebro o es algo más? Si es sólo un proceso químico, hay que permitirle al proceso que sea inteligente. Ahora tenemos por separado la inteligencia, la materia viva y la materia muerta. Y, probablemente, esta separación no es muy razonable a largo plazo, y como la nanotecnología —donde se une la biología, la física y la ingeniería— quizás algún día tendremos una perspectiva diferente sobre estas tres categorías: la inteligencia, la materia viva y la materia muerta. Y quizá, si se confundiera todo en el futuro, se podría tener una transición más razonable de uno al otro. ¿Quién sabe?

La conciencia de los átomos (II)

NICOLÁS GARCÍA

«¿Pero por qué la vida tiene que ser única y como nosotros la conocemos? Tal vez billones de nanorobots nos lleguen a controlar una día.»

Nicolás García, director del departamento de nanotecnología del Consejo Superior de Investigaciones Científicas, ha colaborado durante mucho tiempo con Rohrer. Fue Nicolás quién me enseñó por primera vez, con su microscopio de túnel, un átomo. Aquel átomo cimentó una amistad expresada en mensajes electrónicos que no tiene nada que envidiar a las amistades más duraderas y profundas del mundo no virtual. Él nunca dudó de que se pudiera construir el mundo de abajo arriba, ni de que las máquinas podrían superar al cerebro de los homínidos cuando dispusieran de un nivel similar de información. Aquellas elucubraciones de ciencia-ficción están hoy dentro de la frontera científica y con visos de realizarse antes de que concluyan las vidas de los que las imaginaron. En el planeta hay muy pocos científicos —se pueden contar con los dedos de una mano— que sigan instalados, con idéntica pasión e inteligencia que al comienzo de sus investigaciones, en la última brecha de la nanotecnología.

EDUARDO PUNSET. Nicolás, ¿encontraremos un robot por los espacios siderales si hallamos vida fuera de la Tierra?

NICOLÁS GARCÍA. Mi opinión es que, en vez de buscarlos, si existen, vendrán a nosotros, ¿verdad? Creo que, si hay vida en otra parte del Universo, no tiene por qué ser como la nuestra, puede que use una materia blanda, puede haber una vida más compleja e inteligente que la nuestra, capaz de viajar a distancias mayores en mucho menos tiempo. Desde el punto de vista tecnológico, nuestro desarrollo, el del planeta Tierra, es muy primitivo para las posibilidades que existen.

E.P. No estamos muy preparados, ¿verdad? No pareces muy contento con lo que tenemos, nuestro cuerpo podría ser mucho mejor, ¿verdad?

N.G. Yo creo que sí. Nuestro cuerpo es como es, pero pueden existir seres mucho más perfectos, grandes, con muchísima más visión de futuro de las cosas y que entiendan mejor la naturaleza. ¿Puede haber vida por ahí? Claro. Estoy convencido de que buscar seres extraterrestres es muy complicado, y tardaremos mucho en encontrarlos, si existen. Ellos, si son mucho más inteligentes, tienen que llegar a nosotros. Las galaxias son tan grandes que nuestra tecnología está en mantillas para abordarlas. Si existe un ser que se puede mover mucho más rápido y con una tecnología mucho más avanzada, se presentará a nosotros.

E.P. Sin embargo, nosotros hacemos maravillas. Cuando te miro, o cuando miro a una mujer, por ejemplo, ¿qué ocurre? Si me parece bella…

N.G. Yo no sé cuando la miras tú, pero cuando la veo yo… Se ha demostrado que en un segundo estás sacando millones de fotos de esa mujer y, naturalmente, existe el sexo y estás sacando fotografías de las zonas más seductoras de esa mujer…

E.P. Millones de fotografías…

N.G. Tu ojo las toma, las analiza y te da una información global, aunque no te das cuenta de toda esa información; partes de ella, la recoges, pero has tenido una visión conjunta de esa señora en tu conciencia. El sistema visual no sólo es una cámara, sino un ordenador que desecha millones de datos y se queda con lo que precisa. Dos personas distintas tienen dos visiones diferentes del mismo objeto. Incluso la formación de la persona define lo que cree ver.

E.P. Si es una cuestión de datos y de memoria, ¿cuál es el problema concreto? ¿Qué falta para que, por ejemplo, en un partido de fútbol, en lugar de un árbitro diciendo «fuera de juego» haya un ordenador que diga «fuera de juego»? Porque tenemos los suficientes sensores como para saber exactamente qué pasa. ¿Cuál es el trecho que falta? Nicolás, sostienes que es una cuestión de sensores…

N.G. El invento que necesitamos es una memoria para registrar todas las imágenes. De hecho, si tengo muchísima más memoria, puedo utilizar una parte como interactivo del análisis de imágenes y así sacar

conclusiones. Es cuestión de almacenar mucha memoria en poco espacio. Ya hemos encontrado antes problemas parecidos. ¿Crees que podríamos haber ido a la Luna con las lámparas y la tecnología antiguas? Fue necesario reducir el dispositivo que nos daba la información, llegamos así al transistor, ésta fue la gran revolución, es una cuestión de integración.

E.P. Y el siguiente paso, dices, es la nanotecnología.

N.G. Claro, estamos en el camino. La tecnología del silicio actual está en el cuarto de micra, pero se puede reducir a un átomo. Si fuésemos capaces de registrarlo todo, de hacer de un átomo un bit de memoria, podríamos tener memorias tremendamente grandes, de diez elevado a la quince, un uno y quince ceros, en un centímetro cuadrado.

E.P. Y con esta memoria, dices, no sólo observo y almaceno, sino que además utilizo una parte para tomar decisiones mejor que ahora el cuerpo humano.

N.G. Bueno, el cuerpo humano tiene un *terabyte* de memoria, es decir diez elevado a la doce. Si mi memoria es de diez elevado a la quince…

E.P. Puedes tomar mejores decisiones…

N.G. Habría que estudiarlo profundamente, pero los datos están ahí, porque de hecho el cuerpo humano actúa como un sensor, registrando y analizando datos. Ésa es mi opinión.

E.P. ¿Y a qué nos llevará esto en quinientos años?

N.G. Dentro de quinientos años, puede que los aparatos que se han hecho sean más capaces de tomar decisiones que nosotros mismos, y que sean autónomos. Puede ocurrir perfectamente. En las clonaciones actuales existe un gran problema: ¿qué ocurre si se crea un ser tan perfecto que nos invade? Pues poco podremos hacer. Estoy seguro de que nadie podrá detener la curiosidad del ser humano para crear. Si alguien puede crear algo superior, lo hará. Imagínate que cada ser humano llevara añadido un robot-ordenador que se comunicara con los otros en tiempo real y mezclara toda la información. Y que además fuera capaz de tomar decisiones. Los resultados de esta interacción caótica serían absolutamente impredecibles, pero no por ello sin

sentido, si los robots toman decisiones inteligentes y airosas. Dependerá de los códigos que tengan, de lo que hayan aprendido. Exactamente lo mismo que ocurre ahora con los humanos.

E.P. Una de las cosas más tediosas e implacables que se repiten es que, al final, siempre hace falta que haya una mente humana que lo haya programado. Y tú dices que con los humanos ocurre lo mismo.

N.G. Ha habido pueblos y civilizaciones para los que cortar cabezas y sacrificar humanos estaba bien. Desde entonces, han evolucionado los códigos, hemos cambiado los programas y nuestro comportamiento. Nos hemos vuelto más humanos porque pensamos que es mejor para llevarnos bien entre nosotros. ¡Pero estamos programados como cualquier otro objeto!

E.P. Igual que el nanorobot inteligente, con mucha memoria, que vais a programar. Y si luego los nanorobots están bastante tiempo funcionando y comunicándose entre ellos, entonces harán cosas que nosotros no sabremos. Nosotros hacemos cosas que no nos han enseñado, pero que descubrimos con la comunicación directa con el medio. Sugieres que los ordenadores actuales no tienen esta comunicación directa y que nosotros, en cambio, estamos interrelacionados. De las conversaciones surgen nuevas ideas y nuestra evolución. Cuando los sistemas nanotecnológicos sean suficientemente inteligentes y se puedan interrelacionar, evolucionarán tanto como los seres humanos.

N.G. Es más o menos así. Me hace gracia cuando dicen que nosotros no funcionamos con un código. No es así, funcionamos con códigos y son cambiantes. Naturalmente, cambian con nuestra interrelación, y eso también ocurrirá con la interrelación de los robots-ordenadores programados con códigos flexibles y en continua comunicación unos con otros, interactuando entre billones de ellos. ¿Por qué no? Para mí es evidente que sí.

E.P. Ningún Estado podrá detenerlo.

N.G. Ningún Estado, ni ninguna consideración moral, no tiene sentido. ¡Es la curiosidad! El ser humano siempre ha sido curioso. ¿Quién pudo convencer a Colón de que no partiera hacia América? Nadie. Y eso sí

que fue importante, aunque los científicos de la época dijeran que era un disparate. ¡Menudo disparate! ¿Quién pudo detener a los que se fueron a la Luna? Nadie. No se pueden contener esas cosas. Hay un refrán que dice: «el que parpadea pierde». Y en ciencia la curiosidad es una verdad universal.

E.P. ¿Te imaginas acosado, acorralado por una máquina inteligente en trescientos años? Yo empiezo a tener mis dudas. Creo que probablemente sí.

N.G. Sólo digo una cosa. Es cierto que el hombre es un animal muy perfecto, pero no mucho más que un mono u otro tipo de animal, aunque el ser humano es un animal con capacidad para tomar decisiones. Yo creo que lo más bonito de un hombre o una mujer es que sea capaz de escribir una novela preciosa, es lo que yo no sé si podrán hacer los robots, escribir novelas como *Bomarzo*, *El Quijote* o *Memorias de Adriano*. Pero cosas distintas con una gran capacidad, yo creo que sí, ¿por qué no?

E.P. Lo que tú haces no es virtual, vas a la esencia de la materia y la vida, profundizas en los átomos. Un premio Nobel de física, Richard Feynman, dijo que no le vinieran a él con filminas y microtransparencias. Él quería escribir y fabricar cosas con átomos, pero necesitaba verlos, y hasta hace poco era muy difícil.

N.G. Yo digo lo que dicen en mi pueblo: «Está más cerca lo que se toca que lo que se ve». Ya hace tiempo que se vieron los átomos, pero lo importante es que con el desarrollo de las nuevas tecnologías, la nanotecnología, los microscopios de campo cercano —como el microscopio de efecto túnel o el de fuerzas atómicas—, se han tocado los átomos. Se ven palpándolos, como un ciego usando el método Braille.

E.P. ¿Cómo funciona?

N.G. Usando un microscopio de efecto túnel, consistente en una punta que los palpa y los describe moviéndose paralelamente a la muestra y detectando una corriente. La gracia es que la punta se mueve a una distancia ¡menor de un nanómetro! (0,000000001 metros) y no es trivial, porque hay que evitar las vibraciones para que el microscopio

tenga estabilidad y resolución. Una vez conseguido, se pueden ver los átomos. Debo decir que no hay ningún sistema en la naturaleza que esté perfectamente ordenado en toda su extensión. Están ordenados por partes, porque si lo estuvieran totalmente sería un sistema inerte y todos los sistemas se mueven constantemente debido a la temperatura.

E.P. La vida requiere algún tipo de imperfección. ¿A qué velocidad se mueven los átomos?

N.G. Estos átomos, en la atmósfera, se mueven a mil quinientos metros por segundo. Pero en el caso de la figura, están saltando cada 0,000000000001 segundo. Los átomos se mueven en una superficie en tiempos de billonésimas de segundo.

E.P. Y es realmente la esencia de la vida, ¿verdad?

N.G. La esencia de la vida es la posibilidad de encontrar sitios, defectos, donde los átomos se puedan agrupar para formar nuevas estructuras. Y quisiéramos que estas estructuras fueran inteligentes, nanorobots, que Bill Joy interpreta como sustitutos de nuestro futuro.

E.P. Es decir que el primer nanorobot poseerá una memoria inmensa. En tus escritos, te refieres a un *terabits*, un billón de bits introducidos en un centímetro cuadrado.

N.G. Es, más o menos, la capacidad de memoria que tenemos en el cerebro, y equivale a entre doscientos y mil ordenadores de mesa, en un chip de un centímetro cuadrado.

E.P. Todo lo que se escribe y se dice en España en un año cabría en una moneda. Vamos a ver, tenemos lo de la memoria y este artilugio, este nanorobot, que es un ser vivo.

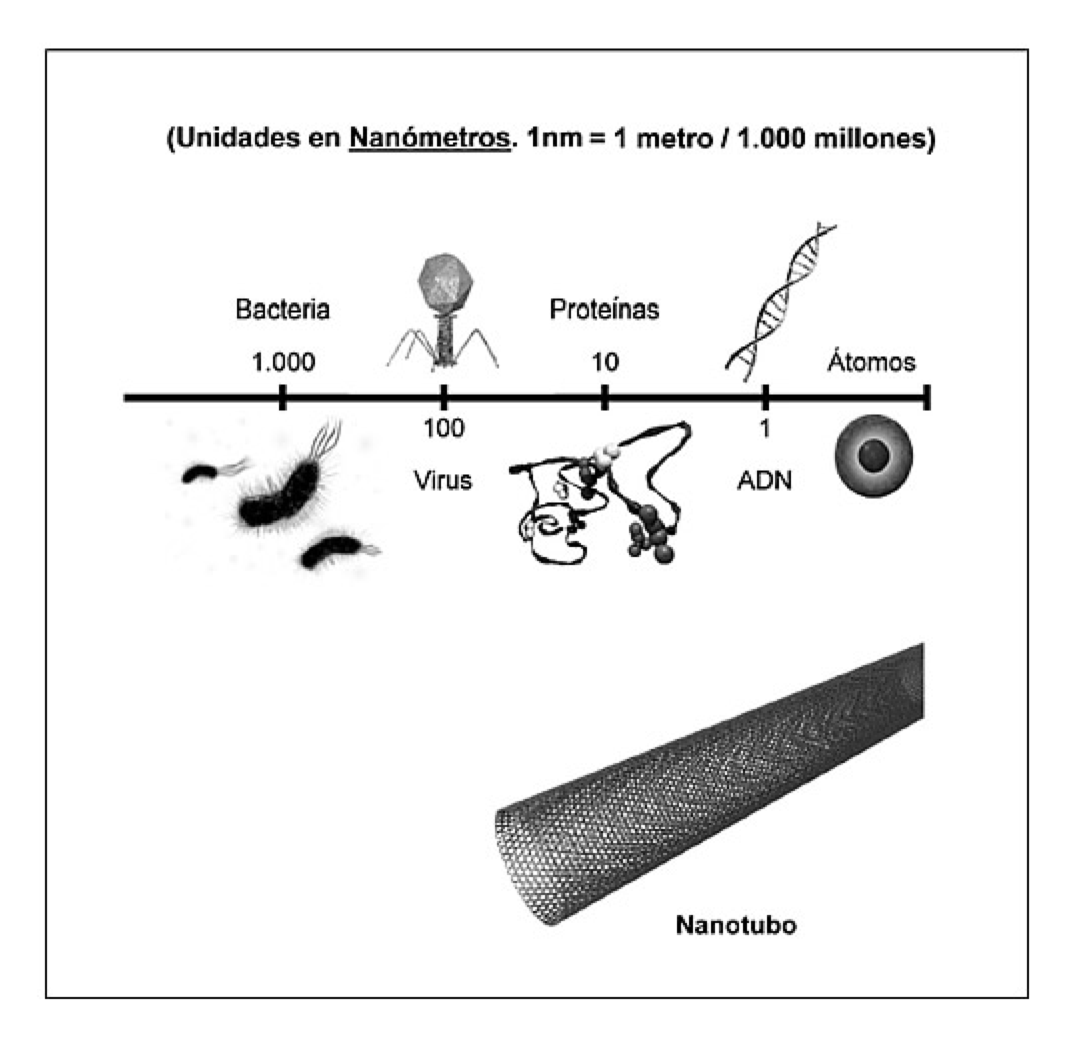
N.G. ¿Qué es un ser vivo? Algo que se replica y es capaz de tomar decisiones ante ciertos problemas que se plantean.

E.P. Claro, porque tiene mucha información y mucha memoria. Es una nueva percepción de la vida: memoria que sacamos o metemos en el silicio.

N.G. O que se forma por autorreplicación. Memoria molecular que se forma con un sistema molecular, con plásticos o con metales… no sabemos cómo será.

E.P. Y algo biológico.

N.G. Y luego esta memoria en un medio biológico, que hace que se autorreplique, que tenga estructura de autorreplicación.
E.P. Una molécula mucho más sencilla que el ADN.
N.G. Mucho más sencilla. Una molécula modificada por nosotros para poder hacer esto.
E.P. Y con esto construyes…
N.G. Irá tomando la forma que nosotros queramos darle. Para mí, un ser vivo es un objeto que es capaz de replicarse y tomar decisiones. Este nanorobot, con la memoria que tiene, será capaz de hacer esto y de comunicar la información a otros.
E.P. Estos seres nuevos no necesitan membranas. En el mundo de la biología siempre hace falta…
N.G. Una membrana que proteja, que depende de las concentraciones adecuadas para el funcionamiento. La vida, como la concebimos



E.P. Estoy pensando en si el caso inverso no sería mucho peor. Si los humanos controlan todo este lío…

N.G. Hay dos opciones: que sean ellos los que nos controlen a nosotros o que seamos los humanos los que los controlemos a ellos. En el segundo caso, seguramente, la gente de la calle controlará su máquina de escribir, su ordenador y su coche. Pero habrá un ente muy selectivo que controlará globalmente el funcionamiento de todo, por lo que de hecho dependeremos de esta élite a través de los robots.

E.P. ¿Por qué no pensamos un poco en las funciones? Las funciones de todo este tinglado de nanorobots son billones y billones. Y si sueltas estos millones de nanorobots en el cuerpo humano para que ataquen a una célula cancerosa, ¿cómo te aseguras de que el cuerpo humano no reaccionará contra estos intrusos?

N.G. Existe un proyecto médico de nanotecnología, firmado por la NASA, llamado *Nanobarco*, que es una nave de dimensiones muy pequeñas que tiene un chip inteligente. Se puede meter por las arterias y detecta si en alguna parte se están formando estructuras que no deberían estar ahí. Es capaz de diagnosticar un problema en los primerísimos estadios de su formación. Es decir que si somos capaces de producir un nanomisil e insertarlo en el sistema sanguíneo, éste, que tiene una masa pequeñísima, es capaz de atacar las células que prematuramente están iniciando una enfermedad. La respuesta del cuerpo humano va a ser, pues, mucho más pequeña y eficaz.

E.P. Claro, ahora, cuando me duele la cabeza, me trago una aspirina que actúa por todo el cuerpo…

N.G. Sí, pero es que imagínate que te duela la cabeza o cualquier otra parte, y que el nanomisil lo identifique e inserte donde lo necesites una cantidad de fármaco ínfima, difícil de medir todavía por ningún aparato. Evidentemente, la respuesta del cuerpo humano será mucho más pequeña. Aunque yo creo que la nanotecnología realmente supondrá un cambio en la medicina preventiva. Es necesario desarrollar sondas cada vez más pequeñas y con capacidad de análisis, para que nos informen constantemente de qué ocurre en nuestro

cuerpo. Otra vez significa dispositivos con más memoria. ¿Te imaginas qué sería de la medicina actual sin las técnicas de rayos X, resonancia magnética, ecografía y análisis químicos? Pues ha sido posible gracias a una investigación más básica, que luego ha hecho posible la construcción de dispositivos en otros muchos campos. Ahora ha llegado el turno de la nanotecnología, con unas perspectivas incluso más grandes que las que teníamos.

E.P. ¿Y qué haremos con los nanorobots que ya no sirvan que tengamos en las venas? ¿Cómo se extraerán?

N.G. He estado en conferencias de nanotecnología, donde se ha propuesto que del interior de los nanorobots salgan nanorobots enfermeros, y cosas parecidas.

E.P. Que eliminan la basura, como los basureros…

N.G. Sí, fue una discusión, muchos científicos no se lo podían creer. Pero si lo piensas, ¿por qué no? Es una cuestión de identificar lo que no está funcionado como debería. Una vez dado el primer paso, el segundo ya no es tan complicado, ¿verdad?

E.P. Nicolás, contigo trabaja José Antonio Rausell Colom, profesor de Investigación del CSIC y un excelente químico, al que conocí en Bruselas. Antes comentábamos un artículo suyo que dice que se ha dado un paso más allá, por otro camino diferente del que se siguió en la evolución natural.

N.G. La nanotecnología ha desarrollado herramientas físicas para manipular los átomos uno a uno. Y los átomos son, de hecho, mucho más sencillos que los aminoácidos, que son combinaciones de átomos. Si conseguimos aproximar unos cuantos átomos —de carbono, oxigeno, azufre, tal vez de fósforo— cercanos a sus posiciones ideales, se puede en principio construir una molécula compleja. Del mismo modo, una vez tienes las moléculas complejas, puedes aproximarlas con otras, hasta formar un compuesto molecular que sea capaz de replicarse. Es obvio que la evolución, con sus miles de millones de años, ha acabado produciendo algo más inteligente que ella misma. ¿Qué es sino el hombre? Mi respuesta es que también esta tecnología está intentando producir algo más inteligente. En el momento en que

haya muchas más técnicas potentes, acabarán desarrollando estructuras más capaces que ellas mismas. Y no me extrañaría que el futuro sea un futuro de mestizaje entre estas cosas nuevas que se están formando y el ser humano.

E.P. Ya estáis empezando. Tú puedes poner un átomo o miles de ellos en fila y decir «no os mováis».

N.G. También puede hacerse con la luz. Se pueden poner muchos átomos, uno detrás de otro, como formando un tren sin moverse.

E.P. Y un electrón, que se mueve no sé cómo, ¿a qué velocidad se desplaza?

N.G. Los electrones se mueven a cien millones de centímetros por segundo y se pueden encajonar en un corral de dimensiones nanométricas.

E.P. Y eso, ¿a dónde lleva?

N.G. Eso nos llevará a donde nuestra imaginación pueda. Por eso yo creo que los artistas, los arquitectos, los filósofos y los matemáticos tienen mucho que decir en la nanotecnología, porque se trata de construcciones con ladrillos muy elementales: los átomos y las moléculas, agregados nanoscópicos.

E.P. ¿Qué habéis hecho en el laboratorio que parezca de ciencia-ficción?

N.G. Pues en el laboratorio, como te decía antes, se han hecho memorias que en un centímetro cuadrado almacenan un *terabyte*, aunque tardamos mucho en diseñarla y, sobre todo, en integrarla sin que degenerase. Tenemos muy poco tiempo para analizarla y hacerla interactiva. Si lográsemos manejarla, ya casi la tendríamos… Tal vez en diez o veinte años sea posible.

E.P. La diferencia entre lo inerte y la vida es que la vida puede duplicarse y lo inerte no. Es decir que hay carbonos que forman componentes que no se replican, como el plástico, y otros carbonos, la materia viva —nosotros, nuestras células— que se duplican.

N.G. Claro, por ejemplo, el ADN es una memoria genética, pero también un ejecutor. El ADN replica lo que tiene.

E.P. Tiene las instrucciones, dices.

N.G. Tiene las instrucciones, el registro de la memoria y la actuación incluida. ¿Y qué nos falta en nanotecnología? Pues lo que nos ha faltado toda la vida: llegar de lo sencillo a lo complicado, en algún punto de la complejidad de las moléculas se bifurca la vida… Si nosotros empezamos a estudiar desde el principio, átomo por átomo, ensamblando átomo a átomo, tendremos que llegar a descubrir el punto donde se bifurcan la química inorgánica, la química orgánica y la biología. Por ejemplo, ahora con lásers de femtosegundos ya se están viendo, a tiempo real, los procesos de formación de enlaces químicos. Si podemos observarlos, tal vez podamos controlarlos para que se formen otras moléculas. Es una cuestión de tecnología y, como te decía, nuestra tecnología está muy poco desarrollada y no conocemos gran cosa.

E.P. ¿Y qué ocurre con los nanorobots? Sostienes que seguirán el mismo proceso…

N.G. ¡Claro! Podremos edificarlos, construir lo complicado a partir de lo simple.

E.P. ¿Y que se dupliquen?, ¿que se dividan?, ¿que se multipliquen?

N.G. Que hagan lo que quieran.

E.P. En la nanorobótica, ¿qué ocurre con las comunicaciones y la televisión, cuando hayáis logrado poner de acuerdo a todos estos átomos para hacer una cosa determinada?

N.G. Yo creo que las comunicaciones que conoceremos dentro de veinte años serán completamente distintas a lo que conocemos ahora. Todas las dimensiones se reducirán en factores de cien, de manera que si tienes una televisión que mide un metro y se puede reducir a un centímetro, me preguntarás cómo la podrás ver. Sencillamente, el receptor estará incrustado en una lente o en el ojo, y tendrá suficiente memoria para recibir y suficientes dispositivos para analizar, como un receptor grande ahora.

E.P. Es decir que podré ir por la calle y…

N.G. Y podrás ver tu programa. Tu receptor será tan pequeño que podrás ver la televisión por la calle, sin ningún problema, en color y tridimensional. Es cuestión de saber integrar todos esos datos en una

zona muy pequeña.

E.P. Y el teléfono móvil, ¿qué?

N.G. Pues… no tendrás que llevarlo en la mano, sino que tendrás un botón al que le dirás «quiero llamar a fulanito», y él transformará tu voz y así podrás hablar por teléfono. Y podrás hablar en cualquier lengua, sin traductor. Tú hablarás en tu lengua y el receptor escuchará en la suya y os podréis ver. Por tanto, será una conferencia interactiva como las que se mantienen ahora en salas especiales. Todo es cuestión de integrar y fabricar chips cada vez con mayor memoria y, por tanto, más inteligencia. Integrar datos y circuitos. Una vez que estudies lo datos, tienes que integrar nanocables y nanocontactos.

E.P. ¿Y eso ya lo estáis haciendo?

N.G. Ésos los tenemos y sabemos cómo funcionan. Son cables de pocos átomos, capaces de conducir la señal eléctrica. Se están buscando moléculas que se autoensamblen y conecten para formar los dispositivos. También los hay que tienen propiedades magnéticas fascinantes y que podrían actuar como sensores excelentes. Se han publicado infinidad de artículos en revistas científicas de primer orden. El problema siempre es lograr un chip estable, fiel, repetitivo y barato. Aunque, de momento, no existe ningún dispositivo nanotecnológico en el mercado. Pero el campo está abierto.

Capítulo XIV

Lo que viene III:

la vida en el espacio

Luis Ruiz de Gopegui

Javier de Felipe

Yuri Pavlovitch

Luis Ruiz de Gopegui, físico e ingeniero de comunicaciones. En los últimos años ha colaborado en numerosos programas espaciales de la NASA, la ESA, INTA, NASDA (en Japón) y Glavkosmos (en la antigua Unión Soviética). Fue responsable de los programas de la NASA en España entre 1984 y 1994.

Javier de Felipe, profesor del Insituto Ramon y Cajal y del CSIC, es el único investigador español que usa la microscopía electrónica para el estudio del cerebro humano. Ha colaborado con la NASA, para ver el efecto de los vuelos espaciales sobre el desarrollo del cerebro. Sus estudios se centran en la micro organización de la corteza del cerebro humano, donde se localizan funciones como el pensamiento, la imaginación o la creatividad.

Yuri Pavlovitch, cosmonauta ruso que comandó en 1995 una de las misiones a la estación espacial rusa Mir. Actualmente es uno de los componentes del equipo de la Estación Espacial Internacional.

El secreto de la vida está en el espacio

LUIS RUIZ DE GOPEGUI

«Con un solo dato —el nuestro— es muy difícil construir una teoría de la vida.»

Los astrónomos John y Mary Gribbin, autores de The men who measured the universe *hacen la siguiente pregunta a sus lectores: «¿A qué distancia se puede ver en un día despejado?» La respuesta de la mayoría es unos pocos kilómetros, condicionada por un cerebro humano acostumbrado únicamente a medir distancias terrestres. A nadie se le ocurre medir hacia arriba: hace menos de cien años los propios astrónomos creían que el Universo consistía en la Vía Láctea, y no en miles de millones de galaxias como ella. La respuesta es que un día despejado se puede ver el Sol, que está a ciento cincuenta millones de kilómetros.*

Cuesta imaginar que en el futuro la vida transcurrirá en el espacio. Y si alguien llega a imaginarlo, piensa en terratransformaciones de planetas para seguir asentados con los pies en el suelo cuando lo más probable es que los futuros astronautas vivan comfortablemente —engañando a su cerebro, claro está—, flotando en grandes ciudades.

Al físico Gerald O´Neil se le ocurrió preguntar a un grupo de estudiantes superdotados si la Tierra era, en realidad, el mejor lugar donde construir ciudades. Más de un treinta por ciento contestó que no: que en la Tierra había montañas y ríos y que su geometría era demasiado irregular para diseñar grandes espacios de convivencia. La solución eran las colonias espaciales de unas diez mil personas dispuestas a quedarse como residentes una decena de años como mínimo. Allí habría energía solar ininterrumpidamente y no sería difícil simular el día y la noche mediante corrimientos de cortinas gigantes que respetaran los ritmos circadianos de los homínidos. En cuanto a la fuerza de la gravedad, podría simularse fácilmente —según Gerard O´Neil—, recurriendo a la fuerza centrífuga. La

ciudad sería como un neumático rotatorio. La gente que estuviera en la parte interior del neumático sentiría la fuerza centrífuga característica de cualquier cosa giratoria. Esa fuerza centrífuga no es exactamente idéntica a la gravedad, pero se le puede parecer mucho. Además, existen otros muchos factores que pueden influir notablemente en la salud de los tripulantes de las naves espaciales o de los futuros colonos espaciales. Por ejemplo, las radiaciones cósmicas y el confinamiento. Los astronautas están expuestos a dosis elevadas de radiaciones y de naturaleza distinta a las de la Tierra, lo que podría aumentar el riesgo a padecer cáncer u otras enfermedades. El hecho de estar confinados en un espacio muy reducido y con poca gente, o el estar sometidos a frecuentes situaciones de estrés o de peligro, puede incidir en la salud mental de los tripulantes. Por otra parte, como explica más adelante el científico Javier de Felipe, existe otro problema que ha sido poco investigado: el efecto de los vuelos espaciales en el cerebro.

Y todo este esfuerzo, ¿a santo de qué? ¿Qué pintamos los seres humanos en el espacio? El origen o la razón de la vida en el espacio parece tan difícil de desentrañar como el origen de la vida. En realidad, los dos temas están íntimamente mezclados. No sabremos nunca el origen de la vida sin ir al espacio. De ahí el nacimiento de nuevas disciplinas como la astrobiología. El astrofísico Luis Ruiz de Gopegui ha explicado como nadie el porqué de la conquista del espacio. A lo largo de su larga carrera, ha participado en las misiones Apolo, Skylab, Voyager y Apolo-Soyuz, entre otras, de los programas de las principales agencias espaciales.

LUIS RUIZ DE GOPEGUI. El comercio tiene que ser con la Tierra porque las colonias siempre han comerciado con la metrópolis. Venderían electricidad que podrían captar del Sol y transmitirla por microondas a la Tierra y sería una electricidad completamente limpia.

EDUARDO PUNSET. Luis, dices que captarían la energía del Sol, la transformarían en electricidad y luego la meterían en un rayo de microondas en dirección a la Tierra, pero ¿es factible?

L.R.G. Sí, es factible. Requiere mucho dinero, pero se conoce la tecnología y es factible. Además, se cree que habría mucha gente interesada en ir a la colonia para hacer experimentos sociales, por ejemplo. ¿Cómo se desarrolla una sociedad en una colonia espacial sin las trabas que existen en la Tierra?

E.P. Sin la Agencia Tributaria.

L.R.G. La Agencia Tributaria o los problemas sociales que existen en la Tierra por el enfrentamiento entre diferentes culturas… allí habría una única cultura, la cultura de la colonia espacial. Se podrían mandar estudiantes de Estados Unidos, de España y de otros países a una universidad en una colonia espacial y estudiar qué ocurriría con ellos cuando volvieran a la Tierra. ¿Qué conceptos tendrían?, ¿qué habrían asimilado? Es decir que se podrían alquilar instalaciones de la colonia a profesores y universitarios de la Tierra que quisieran ir allí a hacer prácticas.

E.P. ¿Cuánto tiempo crees que podrían vivir en una colonia espacial?

L.R.G. Entre diez y doce años, porque los viajes son muy caros. Los turistas con un poder adquisitivo alto, en cambio, podrían residir allí seis meses.

E.P. Y tú crees que un bebé que naciera allí, con ese simulacro de la fuerza de gravedad, engañando a su cerebro, ¿se podría adaptar bien a la gravedad de la Tierra?

L.R.G. Yo creo que sí. La fuerza centrífuga se parece mucho a la gravedad, aunque existen pequeñísimas diferencias que no se han experimentado todavía. Yo creo que cuando un niño nacido en una colonia espacial viajara a la Tierra, se sorprendería de su irregularidad. En una colonia espacial, todo es regular y sistemático: la iluminación es sumamente regular, la lluvia es artificial, a diferencia de la Tierra, donde un día llueve mucho y otro día no llueve nada.

E.P. De sorpresa en sorpresa.

L.R.G. Exacto, en la Tierra vamos de sorpresa en sorpresa. Vivimos en un Universo que está bajo la influencia total de la gravitación universal. Lo único que nos permite escapar de esa inmensa fuerza de la gravitación es la expansión del Universo a grandes velocidades y,

luego, compensar la fuerza de la gravitación con la fuerza centrífuga. Por eso, la Luna no se cae sobre la Tierra, ni la Tierra cae sobre el Sol… Es la velocidad la que nos permite vivir.

E.P. ¿Cuál es la estrella más cercana?

L.R.G. Próxima Centauro.

E.P. ¿Y a qué distancia está?

L.R.G. Creo que a 4,4 años luz.

E.P. Es decir que si pudiéramos viajar a la velocidad de la luz, tardaríamos cuatro años y medio en llegar a ella. Pero como no podemos viajar a la velocidad de la luz, tardaríamos…

L.R.G. Muchos siglos, pero parece que en esa estrella no hay sistema solar, de modo que la posibilidad de que haya vida ahí es muy poco probable. El problema fundamental es saber si estamos solos o no en el Universo, si nos podremos comunicar con alguien. Porque puede ser que haya vida en una galaxia a diez mil millones de años luz, pero nos es indiferente porque jamás podremos comunicarnos con esos seres vivos tan lejanos. Ya no hablemos de viajes, porque nuestros viajes tienen que ser a velocidades inferiores a la de la luz. Por tanto, sólo para comunicarnos con una estrella que esté en el extremo opuesto de nuestra galaxia, la señal, para llegar a nosotros, tendría que haber salido de esa estrella en tiempos del *Homo sapiens*…

E.P. Hace dos millones de años.

L.R.G. Hace tantísimo tiempo que ya no tiene sentido la comunicación. La angustia es esa: quizás existe vida fuera de la Tierra, pero jamás nos podremos comunicar por una cuestión de velocidades.

E.P. ¿Y no hay otras maneras? A veces los científicos os aferráis al dogma científico… ¿No existirán otras formas de comunicación? Se ha propuesto la posibilidad de comunicarse mediante ondas gravitacionales.

L.R.G. Sí, indudablemente es una posibilidad de comunicación, pero por desgracia está sometida a las constricciones de la ciencia. Es decir que todavía no se han encontrado las ondas, aunque los científicos están convencidos de que existen. Pero también viajan a la velocidad de la

luz, por tanto tienen esa restricción. No creemos que haya ninguna posibilidad de comunicación con velocidades superiores a la velocidad de la luz, o sea que estamos condenados…

E.P. Incomunicados, aunque probablemente no estemos solos.

L.R.G. Se tienen que dar tres condiciones fundamentales para que haya vida en otro planeta: que sea semejante a la Tierra, no tiene por qué ser igual, pero tiene que ser semejante, con una temperatura moderada, con clima constante durante millones y millones de años para que la vida pueda evolucionar. Es decir que, por ejemplo, necesita una luna, para que estabilice su eje de rotación.

E.P. Luis, tú dices que tendría que ser un planeta parecido a la Tierra, pero, ¿por qué? ¿No podríamos concebir por manipulación genética un ser que pudiera sobrevivir a temperaturas de -140o?

L.R.G. Todo tiene su explicación. La información genética es grandísima, la información que necesita una bacteria para construir otra bacteria es muy grande y esa información no cabe materialmente en un sitio pequeño. Necesita un sitio grande para almacenarla y ese sitio grande sólo puede ser una molécula gigante. Pero las moléculas gigantes no son estables a temperaturas muy altas o muy bajas.

E.P. Hasta ahora, ¿verdad?

L.R.G. No, hasta ahora no. Nosotros en la Tierra podemos coger moléculas gigantes, subirlas a temperaturas muy altas y se destruyen. Es decir que es una condición bastante restrictiva. Es casi imposible que a temperaturas muy altas haya transmisión genética, y la vida se define fundamentalmente por la transmisión genética.

E.P. ¿Por qué crees que nos lanzamos a esta búsqueda de la molécula gigante en otros planetas parecidos a la Tierra? ¿Por una especie de instinto de extensión creciente del ser humano, este ser tan raro y tan extraño? O, todo lo contrario, ¿es por un espíritu de concentración, de buscar las raíces?

L.R.G. Yo creo que es por lo que acabas de decir. El hombre anda buscando las cosas fundamentales de la vida: el origen del Universo ya casi está descubierto y el origen del ser humano, también. Lo que menos conoce, el mayor misterio que existe hoy en día en la ciencia es el

origen de la vida: no sabemos nada sobre el origen de la vida y ¿por qué no sabemos nada? Porque no tenemos más datos que los nuestros y necesitamos encontrar otro sitio donde haya vida para poder aventurar una teoría. Con un solo dato es muy difícil idear una teoría. Entonces, desentrañando esas tres preguntas fundamentales: de dónde viene el Universo, de dónde viene la vida y de donde viene el hombre, yo creo que el ser humano se sentirá más satisfecho. Pero la muralla actual es el origen de la vida.

Iremos para quedarnos

Javier de Felipe

«La gente no se da cuenta de que al espacio vamos a ir para quedarnos.»

Formamos parte de una especie de mamíferos que en el curso de los próximos mil años —quizás por las razones a que aludía Luis Ruiz de Gopegui, o quizás por simple claustrofobia— cambiará de medio y vivirá en el espacio. Existen precedentes en la historia de la evolución de cambios radicales de entorno. El grupo de los tetrápodos en los peces eligió, hace unos setecientos millones de años, abandonar el mar y refugiarse en tierra: peces como el celacanto o los pulmonados se convirtieron así en nuestros antepasados directos. Un grupo de dinosaurios —el Archaeopterix— se pusieron a volar transformándose en los antecesores directos de las aves. Las gallinas son un subproducto evolutivo de los dinosaurios. Muchos otros mamíferos han hecho algo parecido.

En los programas espaciales de la NASA se ha empezado a investigar qué efectos podría tener sobre los humanos la vida en el espacio. Javier de Felipe, del Instituto Cajal del CSIC, es ya un experto en esta materia. No en vano ha trabajado en estudios para comprobar el efecto que los vuelos espaciales provocan en el cerebro, especialmente en su corteza, donde residen, entre otras, habilidades como la imaginación y la creatividad.

JAVIER DE FELIPE. Existe un experimento maravilloso realizado por la propia naturaleza cuando los cetáceos —las ballenas, los delfines, etc. — pasaron del medio terrestre al acuático. Antes, estos mamíferos caminaban en la tierra y su paso al medio acuático produjo cambios corporales, como es sabido, pero también cerebrales. Aparecieron más circunvoluciones. La estructura íntima de la neocorteza también cambió: en lugar de haber seis capas como en los primates y otras

especies, hay cinco. Y se produjo otra serie de modificaciones en la ultraestructura cortical: las conexiones sinápticas también cambiaron. Es un caso muy representativo de cómo el paso de un medio terrestre a uno acuático, modifica el cerebro, como otros órganos.

EDUARDO PUNSET. Hasta ahora conocíamos impactos de la vida en el espacio, como el debilitamiento de los huesos o la redistribución de los fluidos en el cuerpo humano. Cuando regresas se produce una bajada de la tensión sanguínea y mucha gente se marea… Pero no se había estudiado nunca el impacto en el cerebro. Tú diriges uno de los cuatro o cinco laboratorios del mundo que estudian esto desde hace uno años, desde que se lanzó esta especie de arca de Noe. A decir verdad, con los primeros resultados de vuestra investigación os acusarán de crear alarma social. Sostenéis que es terrible y que en las ratas habéis identificado cambios irreversibles que hacen pensar que un niño que nace en el espacio, cuando vuelva a la Tierra, quizás no pueda andar.

J.F. El cerebro está formado por miles de millones de unas células llamadas neuronas, que están especializadas en el procesamiento y la transmisión de información a otras neuronas a través de unas estructuras altamente especializadas llamadas sinapsis. Es decir que la sinapsis representa el punto de paso de información o de contacto entre neuronas. Nuestro estudio de la corteza cerebral ha demostrado que cuando un cerebro se desarrolla en el espacio, se producen una serie de modificaciones en los circuitos sinápticos. Se da un cambio en el número de sinapsis y no sólo eso, las longitudes de los contactos sinápticos también cambian. Lo que ha ocurrido es, probablemente, algo semejante a lo que le ocurrió al delfín durante su adaptación al medio acuático. Pienso, aunque parece un poco como de ciencia-ficción, que cuando el hombre viaje al espacio lejano no querrá regresar. Si simplemente pensamos en alguien que naciera en la Luna o en otro planeta, con una gravedad inferior a la terrestre, por ejemplo, siete veces inferior, su masa muscular y esquelética no estaría adaptada para caminar en la Tierra cuando regresase, sería como si pesara siete veces más. Es decir que si uno pesa treinta kilos equivaldría a más de doscientos: se sentiría como aplastado, no se podría mover.

E.P. Aparte de esto, en la Luna tendríamos la cabeza muy grande y las piernas como un palillo.

J.F. Al margen de ese tipo de cosas, que ocurren a nivel muscular y esquelético, el problema radica en que la biomedicina espacial sólo ha tratado, hasta ahora, este tipo de problemas: la atrofia muscular, la pérdida de masa ósea, las alteraciones del sueño, etc. Pero en los próximos milenios es muy probable que gran parte de nuestros órganos puedan ser reemplazados por máquinas. Un órgano como el corazón se puede dañar y se puede sustituir por otro, pero el cerebro no se puede sustituir; si lo cambiamos cambia nuestra esencia. Somos nuestro cerebro.

E.P. O eso creemos.

J.F. Claro, si me hacen un transplante de corazón sigo siendo yo, pero si me hacen un transplante del cerebro de otra persona, me convierto en esa otra persona y pierdo mi identidad. Quiero decir que el factor limitante es nuestro cerebro, tanto para el transplante, el envejecimiento o la enfermedad.

E.P. Y este cerebro tiene grabado la gravedad. Se ha adaptado a la gravedad y no le resulta nada fácil vivir sin ella.

J.F. Esa es la gran pregunta. Sabemos que el cerebro es un órgano muy plástico y que tiene una gran capacidad para adaptarse a ambientes nuevos. Durante millones de años nuestro cerebro ha evolucionando dentro del campo gravitatorio terrestre. Aunque normalmente no nos demos cuenta, la gravedad es una característica omnipresente. Pero nuestro cerebro sí se da cuenta de que estamos sentados o apoyados en una silla, está recibiendo constantemente mucha información desde todas las partes del cuerpo que dicen cuál es nuestra posición en el espacio. Y nuestro cerebro está acostumbrado a procesar esa información. De repente, si vives en un entorno en el que no existe eso, ya no se puede obtener esa información. ¿Qué le ocurre al cerebro, entonces?

E.P. Tanto es así, que en el juego de la pelotita el cerebro está tan acostumbrado a la gravedad que cuando yo te tiro la pelota, el cerebro calcula la pérdida de velocidad que se produce por el tirón de la

gravedad y lo tiene todo calculado un segundo antes de que la pelota llegue a tus manos. En el espacio esto no es posible. El problema es que cuando se llega a la Tierra, se necesita mucho tiempo para adquir de nuevo la costumbre. Pero hablas de impactos que parecen irreversibles…

J.F. Sí, además hay otra cosa muy importante, y es que todavía no conocemos cuáles son los efectos de larga duración en una persona adulta. El tiempo máximo en el espacio se batió en la estación Mir: Valeri Poliakov vivió cuatrocientos treinta y siete días fuera de la Tierra. Pero es poco tiempo, relativamente. ¿Qué ocurrirá, especialmente en un cerebro en desarrollo, cuando un vuelo espacial dure mucho más tiempo? Porque la plasticidad es aún más acentuada durante el desarrollo. El cerebro de un niño tiene una capacidad plástica muy superior a la de una persona adulta, porque sus circuitos sinápticos se están formando, están madurando. Es decir que al nacer, el cerebro no tiene todas sus conexiones establecidas, sino que gran parte de las conexiones se comienzan a formar, y ese período dura muchos años, quince o veinte. Y ese proceso depende mucho del medio ambiente: si un niño nace en un ambiente familiar poco adecuado, puede tener graves alteraciones psiquiátricas o psicológicas porque la información que le está llegando no es la adecuada para que su cerebro se desarrolle de forma sana a nivel psicológico. Para conocer cuál sería el efecto de un vuelo espacial necesitaríamos conocer qué le ocurriría a un niño que naciera en el espacio y pasara muchos años en el espacio. Por eso la rata es el modelo ideal. Sólo estuvieron quince días dando vueltas a la Tierra, pero la maduración del cerebro de la rata tiene lugar en un mes, en treinta días se forman todas sus conexiones sinápticas. En el cerebro de la rata, todo va acelerado y esos quince días equivalen a la mitad de todo el proceso de maduración de su cerebro en el espacio.

E.P. Y esas cosas que habéis descubierto, los cambios en el número y la longitud de las sinapsis, las modificaciones en las comunicaciones neuronales, ¿son buenas o malas?

J.F. Es una pregunta muy acertada. Todavía no sabemos por qué ocurren estas alteraciones y si son patológicas o representan cambios plásticos para una mejor adaptación a un nuevo medio ambiente. Podría ser bueno, con el tiempo, para vivir en el espacio, pero malo para regresar a la Tierra. Por eso, quizás, la explicación previa que se dará a los que quieran irse al espacio será la siguiente: «Usted quiere ir al espacio. Pues vaya con su pareja y no regrese a la Tierra, ni sus hijos tampoco, porque la Tierra será un medio hostil para ellos porque su organismo se adaptará a otro medio ambiente». La parte más filosófica es que estamos identificando cambios en la corteza cerebral, y en la corteza cerebral se localizan las funciones superiores, como nuestra capacidad para imaginar, pensar y el lenguaje. Dejando volar nuestra imaginación, a medida que en los milenios venideros nos vayamos diseminando por el Universo, nuestra especie *Homo sapiens sapiens* podría transformarse, en esos mundos extraterrestres, en otra subespecie que podríamos llamar *Homo sapiens spatii*.

E.P. En el sistema límbico, en la amígdala, en el sistema emocional, no se producen cambios.

J.F. Todavía no lo hemos estudiado, pero las mismas ratas que fueron analizadas por nosotros fueron estudiadas por el laboratorio de Luis Miguel García-Segura del Instituto Cajal. Estos científicos encontraron alteraciones estructurales y neuroquímicas, algunas permanentes, en una región del cerebro conocida como núcleo supraóptico del hipotálamo, que se encarga de la producción de hormonas implicadas en la regulación de varias funciones vitales básicas, como el apetito, la sexualidad, el crecimiento y la respuesta al estrés.

E.P. Todavía no se sabe si los organismos se vuelven más o menos emotivos, pero en la corteza cerebral se producen cambios irreversibles.

J.F. Sabemos que son cambios permanentes porque hemos sacrificado a las ratas en dos turnos: cuatro o cinco horas después del aterrizaje de la nave en Cabo Cañaveral, en Florida, y aproximadamente cuatro meses después. De esta forma, hemos podido analizar el «efecto agudo» del vuelo espacial y la re-adaptación a la gravedad terrestre para saber si

los efectos del vuelo espacial son permanentes o transitorios. Al comparar los cerebros de las ratas espaciales con los controles observamos que algunos de los cambios que habíamos visto tras el aterrizaje habían desaparecido y, sin embargo, aparecieron otros nuevos, aunque yo prefiero decir modificaciones.

E.P. Y otros, sin embargo, empeoraron…

J.F. Es difícil hablar de empeoramiento o de mejora, porque es una adaptación nueva. Es, probablemente, lo que le pasó al delfín. El delfín vive perfectamente en el mar. Su cerebro ha cambiado, su forma de comunicación y de procesar información es muy distinta al resto de los mamíferos. Es decir que su cerebro ha cambiado mucho.

E.P. Tomen nota: estos experimentos destierran la idea que teníamos de que en el futuro iríamos de excursión a Marte y volveríamos unos días después. Los que viajen al espacio se irán de verdad, para quedarse. Y otra de las cosas que constatan vuestras investigaciones es que en estancias prolongadas en el espacio cambia el sistema circadiano endógeno. El reloj biológico que te hace tener sueño y te despierta también se destruye.

J.F. Es un cambio radical, pero son problemas que, aunque a largo plazo sean graves, no son tan importantes, porque muchas alteraciones pueden o podrán ser reguladas a nivel hormonal o farmacológico. La parte más filosófica es lo qué ocurre con la corteza cerebral, porque si se modifica la zona del cerebro que nos hace humanos, ¿qué será de ese ser humano cuando transcurran varias generaciones?, ¿cómo serán los niños nacidos fuera de la Tierra?, ¿ sus cerebros serán diferentes de los nuestros?, ¿cómo se adaptará el cerebro a este nuevo entorno? La misión Neurolab es el primer paso para intentar contestar a estas preguntas.

E.P. Y tú dices que esta corteza, que nos hace humanos…

J.P. Sí, la neocorteza es el sitio de elección de muchos científicos teóricos y experimentalistas por su implicación directa en diversos aspectos del comportamiento de los mamíferos y porque es la estructura más «humana» del sistema nervioso. Es decir, es el lugar en donde se

localizan las capacidades que distinguen a los humanos del resto de los mamíferos —como el lenguaje y la capacidad de abstracción—, de ahí que su estudio sea de máximo interés.

E.P. Y la neocorteza es la parte del cerebro que en el espacio cambia irremediablemente.

J.F. Sí, ha ocurrido en las ratas, y es de suponer que ocurrirá en el ser humano. Cuando se empiezan a realizar este tipo de estudios, de entrada se dice «¡qué tontería de estudio!, con la cantidad de cosas interesantes y más urgentes que hay que hacer en la Tierra, ¿por qué se estudia el cerebro en el espacio?» Un día irá gente allí sabiendo que no regresará, y a medida que la especie humana se disemine por el espacio, se irá transformando. Quizás la gente que viva más allá de nuestro sistema solar tendrá que aprender nuevas formas de comunicarse, seremos una nueva especie.

E.P. ¿No existe la posibilidad de que estas colonizaciones se realicen, no en la Luna, sino en sitios más lejanos, donde también haya una fuerza de gravedad, aunque sea mucho mayor o mucho menor?

J.F. Existe la dificultad de las grandes distancias. Yo creo que la colonización del espacio no será a través de un solo vuelo, sino más bien como la actual estación internacional. Puede que dentro de unos años haya otra en Marte, dentro de más años otra más allá, porque no tenemos límites. ¿Por qué detenernos aquí, en el Sistema Solar? Puede que dentro de miles de años estemos muy lejos del origen, que es la Tierra, y regresar de esas distancias tan grandes sea absurdo.

E.P. Pero fisiológicamente somos muy chapuzas. No estamos preparados para vivir en otro medio como el espacio. A mí me da la impresión que tendremos más dificultades de las que tuvieron los defines para regresar a un medio acuático. Todavía no hemos hablado de las radiaciones. Somos demasiado grandes para entender el mundo de los átomos y demasiado vulnerables para viajar por el espacio.

J.F. Yo creo que es al revés. Gracias a la capacidad de modificarse del cerebro hemos llegado a lo que somos.

E.P. Esa capacidad de adaptación no la posee la rata.

J.F. Sí, la rata también ha evolucionado. Además, algunas funciones sensoriales y motoras de la corteza cerebral se rigen por principios básicos muy parecidos en todos los mamíferos. Lo que ocurre es que carecen de los circuitos corticales que nosotros utilizamos para pensar, escribir, realizar cosas buenas y malas, como hacer una guerra, que es obra de nuestro cerebro. Pero si no tuviéramos esa capacidad, no podríamos cambiar nuestros pensamientos, ni aprender a leer, escribir o ser capaces de crear cosas tan maravillosas como la música o una obra de arte, o inventar máquinas extraordinarias como el avión.

E.P. Pero la rata también aprende

J.F. La rata también tiene neocorteza. Pero como te decía antes, la utiliza para cosas mucho más simples que nosotros. Creo que antes no he dicho que uno de los aspectos más notables de la evolución del sistema nervioso central de los vertebrados es la aparición en la región más rostral o telencéfalo, de láminas superficiales de neuronas que constituyen la corteza. Esta corteza se encuentra en varias especies de vertebrados no mamíferos, pero se ha desarrollado particularmente en los mamíferos. Por ejemplo, el telencéfalo de los anfibios carece de corteza, mientras que en los reptiles existe una corteza bien diferenciada formada por tres capas. En los mamíferos esta corteza «simple» o trilaminar está en la región olfatoria y en la formación del hipocampo, pero están separadas por una corteza muy compleja —generalmente formada por cinco o seis capas— que por su aparición tardía en la evolución se ha llamado neocorteza. La neocorteza varía mucho en su tamaño y superficie, desde tres o cinco centímetros al cuadrado por hemisferio en insectívoros de pequeño tamaño, hasta, por ejemplo, mil cien o dos mil quinientos centímetros cuadrados en los humanos. En los mamíferos de pequeño tamaño considerados primitivos, como el erizo, el ornitorrinco o la zarigüeya, la extensión relativa de la neocorteza es todavía pequeña, del diez o el veinte por ciento del volumen total del cerebro, pero en otros mamíferos como en los cetáceos y los primates esta estructura alcanza dimensiones enormes, llegando a ser la región más grande del cerebro humano,

donde representa el ochenta por ciento. Es decir que en el hombre la corteza cerebral no sólo ha aumentado su complejidad, sino también la extensión en relación a su cerebro total.

E.P. Y, sin embargo, te he oído decir que las ratas, por el mismo volumen cortical, tienen mayor número de sinapsis.

J.F. Sí, es cierto. El número de sinapsis por volumen es muchísimo mayor en el ratón porque todo está más concentrado.

E.P. Así que si viviera cien años, quizás nos ganaría en inteligencia.

J.F. En el ratón, el número de neuronas es de diez millones y en el hombre son más de veintiun mil millones, de manera que el número de las conexiones del cerebro humano es muchísimo mayor. No es que tener un cerebro más grande sea mejor que tener un cerebro pequeño, tenemos lo que tenemos. El otro día, en una conferencia, discutíamos sobre el cerebro de las jirafas. La mayor parte de las investigaciones sobre el cerebro se basan en animales como la rata, el ratón o el macaco, y en menor medida el hombre. Cuando se estudian especies más exóticas, como la jirafa —que por su largo cuello pensábamos que las neuronas corticales que proyectan a la médula espinal tendrían que ser neuronas muy grandes para que sus prolongaciones puedan alcanzar varios metros— constatamos que la corteza cerebral tenía una estructura distinta de todas las que conocemos, con una microanatomía muy distinta. Es bueno para la jirafa, la jirafa tiene una corteza de jirafa, el ratón de ratón y el hombre de hombre, y eso hace que el hombre sea hombre. Parece de perogrullo pero es así.

E.P. A veces los neurobiólogos habéis dicho que este sobrecrecimiento de la corteza no quiere decir que el aparato emocional, el primitivo, no se haya desarrollado en los humanos.

J.F. De hecho, también se ha desarrollado a lo largo de la evolución, pero tiene una estructura distinta a la de la rata. Tenemos similitudes y diferencias en el cerebro con otras especies, pero algunos científicos hacen énfasis en las similitudes y otros en las diferencias, aunque, en realidad, no sepamos qué significan. En el ser humano, tanto la amígdala como el hipocampo han evolucionado, pero quizás lo más

notorio son los cambios en la corteza prefrontal, porque muchas funciones cerebrales superiores se asocian primariamente a esa zona de la corteza frontal.

E.P. Y, tal vez, eso cambiará en el espacio.

J.F. Claro, puede cambiar. Ahora mismo nuestro cerebro tiene, primero, una información almacenada que es única para cada individuo. Tus recuerdos son tus recuerdos y mis recuerdos son mis recuerdos. En segundo lugar, la información externa recibida puede ser la misma. Estamos aquí sentados, puede que tú tengas una molestia en el estómago y yo no, y mientras conversamos me dices que te molesta. Y luego tenemos la información que genera el propio cerebro, que está constantemente funcionando y mandando información de un sitio a otro del cerebro. Así que, cuando llega una información externa, cualquier cosa que pasa a la corteza cerebral, el producto final resulta de la interacción entre lo que está almacenado, lo que llega y lo que está generando el propio cerebro. Cuando esos circuitos se alteran, la respuesta tiene que ser obviamente distinta.

E.P. Tu tesis es que estas alteraciones del cerebro en el espacio no tienen porqué ser patológicas, sino una adaptación al nuevo medio. Se cambiará la condición humana. Y ante esto, que pone los pelos de punta — porque no sólo dices que los colonos parten para siempre, sino que se transformarán en otra cosa—, ¿no sería mejor la alternativa de reproducir en el espacio las mismas condiciones de la Tierra?

J.F. Yo no soy nadie para decirle nada a la NASA, pero es otra posibilidad. Nuestro cerebro está adaptado para funcionar en la Tierra. Queríamos investigar si el cerebro cambiará o no en el espacio, y cambia. Es un tema que no se había estudiado, y ya se verá qué implicaciones tendrá en los futuros viajes espaciales. El cambio ha ocurrido y si las ratas hubieran estado más tiempo en el espacio, es probable que los cambios fueran mayores. Nuestro cerebro cambia en el espacio, por tanto es posible que la condición humana cambie. Decimos que somos superiores a otros animales porque somos capaces de hacer cosas muy

complejas, pero en el espacio podría darse un desarrollo de la zona prefrontal del cerebro y ser mucho más inteligentes que nosotros. ¿Quién sabe?

Los astronautas no tienen claustrofobia

Yuri Pavlovitch

«Tiene que haber una colaboración entre muchos países para lanzar este cohete a Marte. … pero el 2020 quizá es prematuro para ir. Yo creo que en 50 años, éste es mi pronóstico.»

Entretanto, la tarea de ir abriendo camino en el espacio está en manos de héroes que no sufren claustrofobia, ni les arredran entornos sofocantes por la falta de atmósfera. Son los astronautas, como el ruso Yuri Pavlovitch, para quienes la ausencia de gravedad no sólo tiene inconvenientes, sino también ventajas tan inconmensurables como «dar un golpe con la mano y salir volando». Pavlovitch trabajó en la estación espacial Mir y, actualmente, en la Estación Espacial Internacional.

YURI PAVLOVITCH. Creo que hubo vida en Marte, y vestigios de ello, y en este sentido es el planeta más atractivo de todo el Sistema Solar, de ahí que queramos volar a Marte.

EDUARDO PUNSET. Los científicos están casi seguros que hubo atmósfera y vida microbiana en Marte. Luego ocurrió algo que se desconoce y que transformó el planeta de manera que cuando llegas, si llevas un vaso de agua se evapora.

Y.P. Sí, es cierto.

E.P. ¿Cuánto tiempo se tardaría en llegar a Marte?

Y.P. Primero hay que elegir el momento de mayor proximidad entre la Tierra y Marte para lanzar el cohete. En el mejor de los casos, el viaje sería de un año. Después, para volver a la Tierra, se tardaría más tiempo, porque habría que esperar en la órbita de Marte la correlación de los planetas y volver a la Tierra. En total, unos tres años, más de dos, seguro. Es decir un viaje largo.

E.P. Los astronautas tendríais que despediros de los familiares y los amigos por tres años, y os enfrentaríais a tres peligros sobre los que los rusos tenéis más experiencia. El primer problema es la falta de gravedad.

Y.P. La verdad es que cuando te acostumbras a la falta de gravedad es una cosa fantástica. Te empujas con la mano y vuelas… Puedes estar boca arriba y boca abajo, es una sensación muy agradable, aunque también implica cosas hay cosas desagradables, al principio, cuando el organismo se acostumbra a la falta de gravedad. Durante la primera semana sientes náuseas, migraña, te duele la espalda y la columna. Los médicos y los cosmonautas sabemos que puede pasar y tenemos remedios para ello. Una vez completado el proceso de adaptación, es interesante y divertido sentirse así, sin gravedad.

E.P. ¿En tu misión en la Mir, en 1995, tuviste que salir al espacio?

Y.P. Sí, dos veces. Realizamos experimentos científicos e instalamos unos equipos en la superficie. Fue muy interesante trabajar en el cosmos abierto. Cuando estás dentro de la estación, siempre tienes un forro metálico que te protege y al salir al cosmos tienes sólo la escafandra y estás tenso.

E.P. Eres coronel aeronáutico y científico, en realidad. Sin embargo, en el momento de salir, de lanzarte al espacio, ¿sentiste que te caías, porque era lo que decía tu cerebro, desafiando tus conocimientos científicos?

Y.P. La verdad es que sabes que al abrir la compuerta no te vas a caer. Enseguida empiezas a volar, pero la primera vez que salí sobrevolábamos Japón de noche. Era precioso, lleno de luces, parecía que estuviésemos a diez kilómetros y, en realidad, eran cuatrocientos. Temía caer y quería aferrarme a algo. Eran los primeros instantes y estaba demasiado emocionado y nervioso, luego empecé a trabajar y me olvidé de todo.

E.P. El segundo problema al que se enfrentan los astronautas en sus viajes por el espacio es psicológico: la soledad, el aislamiento, la conciencia de encontrarse a muchos kilómetros de la Tierra, sin ruido.

Y.P. El aislamiento no es tan complicado, porque hay tres, cuatro o seis tripulantes en una misma nave que forman un colectivo y hay trato entre ellos. En cuanto al ruido, en la estación hay muchas

instalaciones, desde ventiladores a sistemas de calentamiento y siempre hay ruido. Diría que el ruido es bastante potente.

E.P. No parecen preocuparte las cuestiones psicológicas, pero ¿y la claustrofobia que se siente sabiéndose encerrado en un tubo?

Y.P. La Estación internacional y la anterior, la Mir, tienen bastante espacio por dentro. Miden setenta metros de largo, como un submarino. Por tanto, disponemos de espacio suficiente para descansar y trabajar. A decir verdad, no he conocido ningún cosmonauta que sufra claustrofobia…

E.P. Los rusos sois expertos en los rayos cósmicos, de los que te debes proteger.

Y.P. Es uno de los problemas más complicados. Ahora, la estación está a unos cuatrocientos kilómetros de la Tierra y estamos protegidos por el campo magnético, pero al abandonarlo durante el largo vuelo nos tendremos que proteger de esos rayos. Es un problema que aún no está resuelto. Hay que inventar buenos materiales de protección y crear campos magnéticos alrededor de la nave para que repelan estos rayos.

E.P. En el año 2020, ¿Rusia podría mandar expertos a Marte?

Y.P. Creo que es un proyecto grandioso y un solo país no lo conseguirá, ni Rusia ni Estados Unidos. Es necesaria una colaboración entre muchos países para lanzar un cohete a Marte. Sólo con esfuerzos comunes se podrá realizar, pero me parece muy prematura la fecha del 2020. Puede que entonces ya existan soluciones técnicas y científicas, pero se tardará más en crear la nave para volar. Quizá dentro de cincuenta años, éste es mi pronóstico.



Nebulosa del espacio. «Viviremos colgados de una nebulosa.»

E.P. Te daré el parte meteorológico que podrás oír en Marte en la radio: «Buenos días, marcianos: parece que se avecina otra tormenta solar, una erupción de la clase X explotó esta mañana y el número de protones se ha multiplicado por mil. Acechan más partículas letales, que nadie salga del refugio sin el mono antirradiaciones». ¿Te acostumbrarás a esa vida?

Y.P. Hay gente que vive en el Polo Norte y el Polo Sur, o en el desierto. Yo creo que el ser humano es capaz de adaptarse a todo.

E.P. Si Yuri Gagarin viviera, ¿crees que se sentiría orgulloso de los avances en el espacio desde su legendario vuelo?

Y.P. Creo que sí. Nosotros somos dignos de él y de su legado. Gagarin estaría contento con nuestros resultados. Conozco a compañeros mayores que se entrenaron con Gagarin y también están satisfechos.

Capítulo XV

La belleza de la ciencia

RICHARD GREGORY

ROGER HIGHFIELD

Richard Gregory, professor emérito de Neuropsicología de la Universidad de Bristol. Sus trabajos sobre la percepción, sobre cómo y por qué vemos las cosas de la manera que lo hacemos, le han permitido descubrir ilusiones ópticas y visuales, que nos muestran que a veces nuestras percepciones nos engañan.

Roger Highfield, editor científico del *The Daily Telegraph* de Londres. Anteriormente fue investigador de la Universidad de Oxford y del Instituto Lane Langevin en Grenoble. Ha escrito varios libros de divulgación científica y, en colaboración con la BBC, ha organizado experimentos que han atraído la participación de cientos de miles de personas.

El cerebro no busca la verdad, sino sobrevivir

RICHARD GREGORY

«El cerebro está diseñado para sobrevivir, y no para buscar la verdad.»

Por la ventana del despacho del físico Eugene Chudnovsky de la Universidad de Brooklyn, en Nueva York, sólo se vislumbraba la estructura desnuda de un inmenso abedul. En pleno invierno, los árboles se asemejaban a un escenario sumergido en la niebla visto a través de una pantalla de rayos X. Mi pregunta era pertinente: «¿Existe, realmente, el Universo?»

El lector encontrará en este capítulo la respuesta. Esta pregunta primordial, que no está, paradójicamente, en labios de todo el mundo desde que cuajaron los primeros artrópodos hace cuatrocientos millones de años, presupone otra pregunta anterior de la que arranca toda reflexión: «¿Nos podemos fiar del cerebro?»

Las células de distintas especies descubrieron muy pronto que algunas de sus vecinas no eran de fiar. En los organismos complejos, algunas células rompían el consenso, de forma inesperada y sin razón aparente, y decidían comportarse a su aire, transgrediendo los pulsos y ritmos biológicos del colectivo. Las células disidentes ignoraban a las demás y, de pronto, se multiplicaban endiabladamente, causando cáncer y metástasis, que rompían el equilibrio genético del organismo entero, hasta provocar la muerte y la desolación. Otras veces, determinadas disfunciones neuronales generaban conductas extrañas y peligrosas en diferentes especies, particularmente en mamíferos y, especialmente, en los primates sociales. La evolución había puesto de manifiesto que, en determinadas circunstancias, se producían patologías internas que impedían a las células restantes fiarse de su propio organismo.

Otra cuestión más reciente ha sido cuestionar, en circunstancias normales, la confianza de los primates sociales en su propio cerebro. Es extraordinario que esta discusión sea tan reciente. Tanto en su etapa pre-científica como en plena explosión de la neurociencia, la humanidad ha dado por hecho que el cerebro es la máquina más sofisticada del Universo. Físicos eminentes como Alfredo Tiemblo consagraron gran parte de sus reflexiones a descifrar el misterio de por qué el Universo, formado por átomos, recurre al cerebro para pensar en sus orígenes, rastrear su propósito o, simplemente, constatar su despropósito.

En las antípodas de cualquier actitud beata o reverencial ante el órgano rey —que consume cerca de una cuarta parte de la energía generada por el cuerpo humano—, figura el neurocientífico Richard Gregory. El taller desplegado en su casa situada en la parte alta y señorial de Bristol, en Inglaterra, acapara no sólo la mejor vista sobre la ciudad y el mar a sus pies, sino también sobre el espacio. Richard Gregory tiene todos los artilugios imaginables para jugar al escondite con su cerebro. Es una guerra sin cuartel librada durante décadas para penetrar, por medio de la experimentación, en la cámara oscura desde la que el cerebro otea —Dios sabe por qué vericuetos— la luz y las sombras del exterior.

EDUARDO PUNSET. No sé si existe algo más importante que tener una percepción correcta del mundo en que se vive. Y sin embargo, invertimos una ridiculez y muy pocos esfuerzos a investigar si es correcta la imagen que tenemos de los objetos que nos rodean, y sobre todo, de cómo la obtenemos. ¿A ti qué te parece?

RICHARD GREGORY. Creo que es completamente cierto. El cerebro efectúa muchas suposiciones y obtiene pequeñas imágenes de los ojos, pero no basta. El problema radica en que las imágenes que recibe el ojo no se corresponden en absoluto con los objetos que está mirando; no son idénticos. Por ejemplo, si miramos una mesa intuimos que es sólida y fuerte, y que podemos poner cosas encima; pero el cerebro tiene que adivinar que se trata de una mesa sólida y fuerte. El cerebro imagina un objeto real a partir de una imagen del ojo tan pequeña como un sello de correos. Me parece increíble que podamos pasar de

una pequeña imagen al sentido de la realidad del mundo. Y, por supuesto, no siempre sale bien. Estoy completamente de acuerdo contigo: habría que investigar más este campo. Y se debería enseñar en la escuela, es una cuestión vital para los niños.

E.P. En las escuelas sólo se dan respuestas. No se enseña a los niños a hacerse preguntas. Me cuesta imaginar a colegiales pensando si los demás alumnos son como los ven o, como decía Newton, cómo se pasa de la percepción del objeto a la gloria de los colores. Se ha negado a los niños, y a toda la población en general, la costumbre de cuestionar la realidad. La mayoría de la gente está convencida de que los ojos envían al cerebro la imagen fiel de los objetos. En tus libros explicas por qué es falso: los ojos envían sólo imágenes codificadas en forma de impulsos eléctricos. ¡Quién sabe cómo los descifra el cerebro!

R.G. Así es. Por supuesto, en el interior de la cabeza reina la oscuridad más absoluta y sólo se dan pequeños pulsos eléctricos que proceden de los sentidos y que el cerebro tiene que descodificar. Y la señal es muy diferente de la realidad que se observa.

E.P. Me recuerdas a un neurofisiólogo muy conocido de Nueva York, Rodolfo Llinás, ¿le conoces? Sostiene algo muy parecido. Dice que, a diferencia de los crustáceos, nuestro esqueleto y nuestro cerebro son interiores, mientras que la carne está fuera. El cerebro está completamente encerrado y a oscuras y, como tú, Llinás no cree que el cerebro sea un intérprete fiel de lo que sucede en el exterior, porque recibe poca información y muy vaga…

R.G. Estoy completamente de acuerdo. Antes te referías a los colores. Si nos fijamos en los colores, observaremos, por ejemplo, que la alfombra de mi despacho es roja, es decir que tiene longitudes de onda de luz que estimulan el ojo generando el color rojo en el cerebro. Si no existiera la vista ni el cerebro, no habría colores en el Universo. El color se crea en el cerebro y se proyecta, psicológicamente, sobre el objeto. Por eso diferenciamos el color rojo del verde, el negro o el blanco. Todo está en el cerebro y no en el mundo exterior.

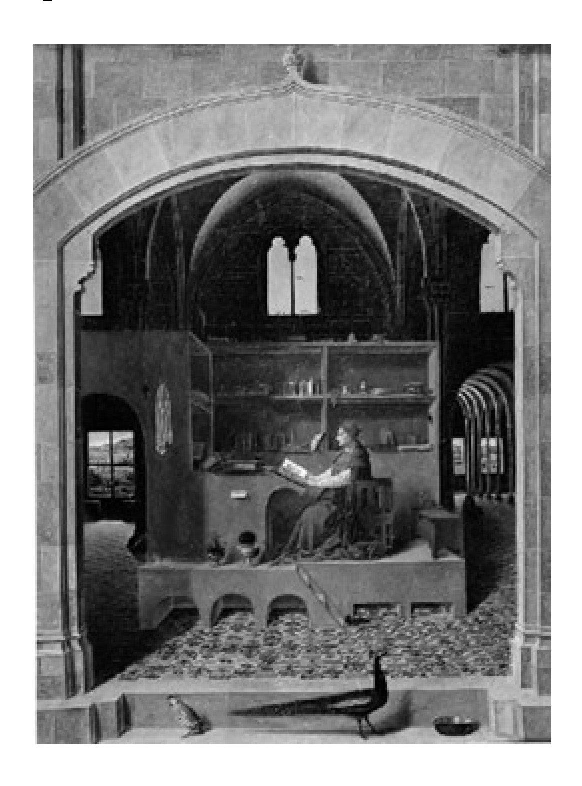
E.P. ¿Qué dirían los artistas si les argumentaras que los colores no están en los objetos, sino en el cerebro?

R.G. Sí. Hace poco tiempo, tuve un debate público con un gran artista en la Royal Academy de Londres y se indignó mucho, porque él es un gran colorista y pinta unos lienzos muy bellos y, por supuesto, estaba convencido de que el color estaba en la obra. Y yo le argumenté que no es así. Otra gran controversia con los artistas es la perspectiva, descubierta recientemente —en el Renacimiento—, aunque el cerebro la conoce desde hace millones de años, desde que existe la visión. Al alejarse un objeto, la imagen se hace más pequeña en el ojo de manera que, cuando el objeto está el doble de lejos, el tamaño de la imagen en el ojo se reduce a la mitad. Por eso las líneas paralelas convergen en la distancia, como ocurre con las vías del tren. Es asombroso que los artistas no hallaran la perspectiva hasta Filippo Brunelleschi, el gran arquitecto que construyó la bóveda de la catedral de Florencia. Fue él el que constató que la convergencia de líneas da profundidad y perspectiva. Luego lo aplicó a sus diseños y desde entonces casi todos los artistas han recurrido al ardid. Pero antes de Brunelleschi no se comprendía la perspectiva, aunque el cerebro llevaba quinientos millones de años utilizándola.

E.P. Una de las cosas que más me intrigan es pensar que no podemos, literalmente, observar nuestras propias expresiones faciales. Es increíble que sin poder vernos el rostro consigamos relacionar las emociones privadas con expresiones públicas en los demás. Es cierto que, como dices en uno de tus maravillosos libros, existen los espejos. Cito tus palabras textualmente: «Si no fuera por los espejos, que nos han ayudado a aprender algo de este misterio fascinante, seríamos incapaces de reconocer nuestra propia fotografía». ¿Es así?

R.G. Eso creo. En primer lugar, un bebé o un niño se reconocen en el espejo gracias a los movimientos. El niño se mueve y su imagen en el espejo también se mueve, de modo que tarde o temprano llega a la conclusión de que es él mismo el que se refleja en el espejo. De no existir los espejos, nunca sabríamos cómo somos. Y como dices, leemos la mente de los otros a través de las expresiones faciales que ellos mismos no pueden ver en sus propios rostros. Es extraordinario.

E.P. ¡Qué difícil debe ser! Y sin embargo, los niños desentrañan ese misterio bastante pronto.



San Jerónimo en su estudio, de Antonnello da Messina. Antes que los paleontólogos, fueron los pintores los que descubrieron la perspectiva.

R.G. Los niños se reconocen a sí mismos, aproximadamente, un poco antes de cumplir el año, a los diez meses. Antes de esa edad no saben que la figura reflejada en el espejo son ellos mismos. Luego lo aprenden a través de los movimientos corporales. Si los niños sólo pudieran verse en las imágenes fijas de las fotografías y no en los espejos, creo que no se reconocerían en absoluto. Se reconocen por los gestos.

E.P. ¿Y los otros animales? Se dice que los chimpancés también se reconocen a sí mismos.

R.G. Los chimpancés son los únicos, ningún otro animal se reconoce en un espejo.

E.P. No entiendo del todo cómo los niños aprenden tan deprisa a reconocerse…

R.G. El niño aprende tocando las cosas. Para reconocer los objetos que le rodean, necesita tocarlos y verlos al mismo tiempo. Por tanto, la vista se educa a partir del tacto, que es un sentido primario. Cuando se mira un objeto, aunque la imagen inicial sólo sea óptica, se ven también, en cierto modo, propiedades no ópticas: se aprecia si es duro o blando, si es comestible, si está frío o caliente. Todo ocurre por asociación con los otros sentidos, ya que todos los sentidos están conectados entre sí.

E.P. ¡Qué extraño que cites el tacto! De alguna manera, la ceguera es el tacto sin vista y el espejo es la vista sin el tacto. Sugieres que en un mundo lleno de espejos, pero sin tacto, nunca aprenderíamos.

R.G. Sí, eso creo. Tal vez veríamos modelos, pero no objetos concretos, y las cosas perderían su sentido. La percepción se adquiere al tocar y ver las cosas al mismo tiempo. No se debería olvidar esto en los museos de ciencia, donde es muy importante que las cosas se puedan palpar. Si todo está encerrado en vitrinas, es muy difícil saber de qué se trata. Es necesario interactuar, explorar mediante el tacto, como hacen continuamente los bebés. Primero se llevan las cosas a la boca y luego las palpan. Los ojos intervienen mucho más tarde.

Richard Gregory salió un instante de su estancia-taller para buscar unos maderos con los que componer una figura imposible. Su idea de que la percepción es, a menudo, el subproducto del amalgama de los cinco sentidos, me recordó la anécdota de una estudiante que me preguntó qué era la sinestesia. Le dije: «Todo el mundo conoce la palabra anestesia: significa ninguna sensación. Pues bien, sinestesia quiere decir sensaciones unidas. Los sinestésicos ven el número cinco, por ejemplo, de color amarillo». «No, el cinco es verde», me contestó de inmediato. Era sinestésica sin saberlo, como muchos creadores. Richard Feynman se refería a una de sus ecuaciones de esta manera: «con jotas de un moreno luminoso, enes de un ligero violeta azulado y equis marrones oscuras». También el escritor Vladimir Nabokov le dijo a su madre, mientras jugaban con los cubos de colores para aprender las letras, que «estaba todo mal»: «Este cubo tiene la A en rojo, y la A es azul». Su madre, que también era sinestésica, le comprendió perfectamente. Otro caso más complejo es el del

músico Olivier Messiaen. Generalmente, el sinestésico puede escuchar música y ver un color al mismo tiempo. Pero el proceso no es en los dos sentidos: un color determinado no le hace oír sonidos. Olivier Messiaen, en cambio, ve colores al leer una partitura, y los colores le sugieren música.

Según Richard Cytowic, la sinestesia se produce por un funcionamiento anómalo del sistema límbico, responsable de las emociones, la memoria y la atención, en el que es clave el hipotálamo. Todos somos sinestésicos al nacer; es la muerte celular que se produce durante el desarrollo normal del cerebro la que provoca islas sensoriales. Ya en el útero se produce un crecimiento espectacular de neuronas y todas compiten por establecer conexiones sinápticas con las demás. Las que no lo consiguen mueren. Entre las edades de uno y dos años, se produce una poda de neuronas. Se cree que en los sinestésicos se da un fallo en el proceso de poda, de manera que los enlaces sinápticos entre las diferentes áreas sensoriales quedan intactos durante toda su vida. Los sinestésicos oyen ladrar a un perro y ven una serie de triángulos de color marrón y gris que se van reproduciendo hacia arriba al tiempo que se difuminan. Es un poco como los fuegos artificiales: aparecen, se quedan suspendidos durante un segundo y desaparecen.

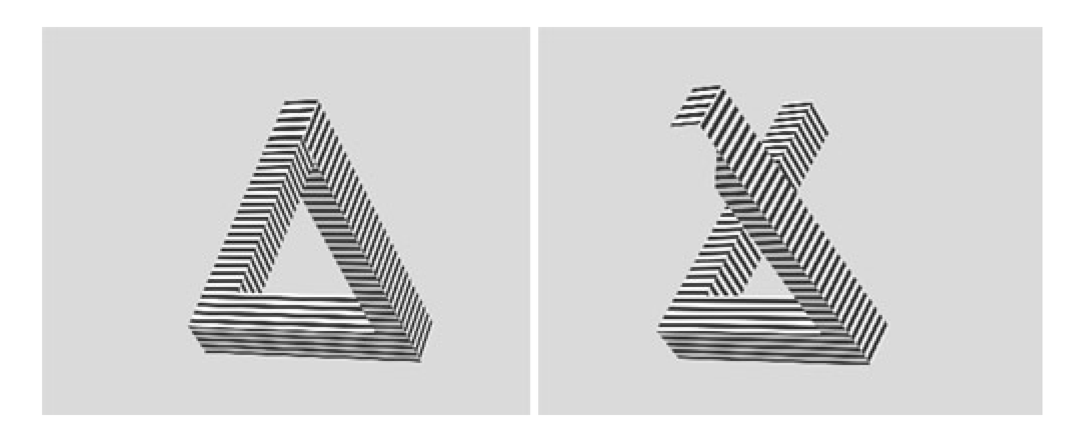
Es difícil entender por qué la evolución no nos ha hecho sinestésicos a todos. De haber conservado la pauta de los primeros meses de vida, gozaríamos de ventajas innegables. Hace años, Richard Cytowic me contó, en su casa de Washington DC, el caso de una productora canadiense de televisión que no usaba agenda, pero recordaba todas las citas, horarios, la gente que iría al programa, el equipo de grabación, etc. «¿Cómo lo consigues?», le preguntó Citowic. «Tengo enfrente —contestó ella—, un corcho con colores y formas, y coloco cada cosa en un sitio, como el cartero pone las cartas en los buzones, y así me acuerdo». Es una gran ventaja de la sinestesia. Los sinestésicos suelen tener una memoria prodigiosa porque los colores, los olores y las formas les hacen recordar las cosas. Un sinestésico podría preguntarme cómo me llamo y decir: «Te llamas Eduardo. Como el verde es una e, sé que eres Eduardo porque tienes un nombre verde».

Mucha gente se pregunta si no se vuelven locos con tanta información. Es como si un ciego dijera: «allá donde mires, siempre ves algo. ¿No te vuelves loco viendo tantas cosas?» Es una cuestión de texturas de la realidad.

Richard Gregory regresó a su estancia-taller con una sonrisa de oreja a oreja. Había encontrado sus maderos imposibles, y la pregunta era obligada:

E.P. ¿Hay cosas imposibles de resolver para el cerebro? Quiero decir, percepciones que el cerebo no logra cuadrar y desiste.

R.G. Sí, hace años yo ideé un objeto imposible, construido a partir de tres piezas de madera. Cuando se mira desde cierta perspectiva (figura izquierda), el cerebro supone que las piezas superiores se están tocando. El ojo las percibe en contacto óptico, por lo que el cerebro supone que están a la misma distancia. Aunque generalmente el contacto óptico se corresponde con un contacto real, en este caso es una falsa suposición (figura derecha). El cerebro construye una hipótesis, si quieres llamarla así, del objeto a partir de una premisa falsa, de ahí la paradoja.



Dos triángulos. «Las percepciones son alucinaciones controladas.»

E.P. En cierto modo, pues, cuando obtenemos imágenes de los objetos del exterior, el cerebro elabora una hipótesis sobre qué es ese objeto y entonces se pone a prueba, contrastándola con los sentidos, ¿verdad?

R.G. Sí, yo creo que la percepción es una hipótesis. El problema es que la percepción debe trabajar de forma muy rápida, en una décima de segundo, por lo que la comprobación no es muy exhaustiva. Si tocamos un objeto y nos damos cuenta de que estábamos equivocados, el cerebro visual sigue sin poder verlo bien, porque la hipótesis que crea el cerebro sólo está parcialmente relacionada con la comprensión intelectual. Una parte del cerebro comprende y la otra no.

E.P. Incluso podemos ver cosas que ni siquiera existen, ¿verdad?

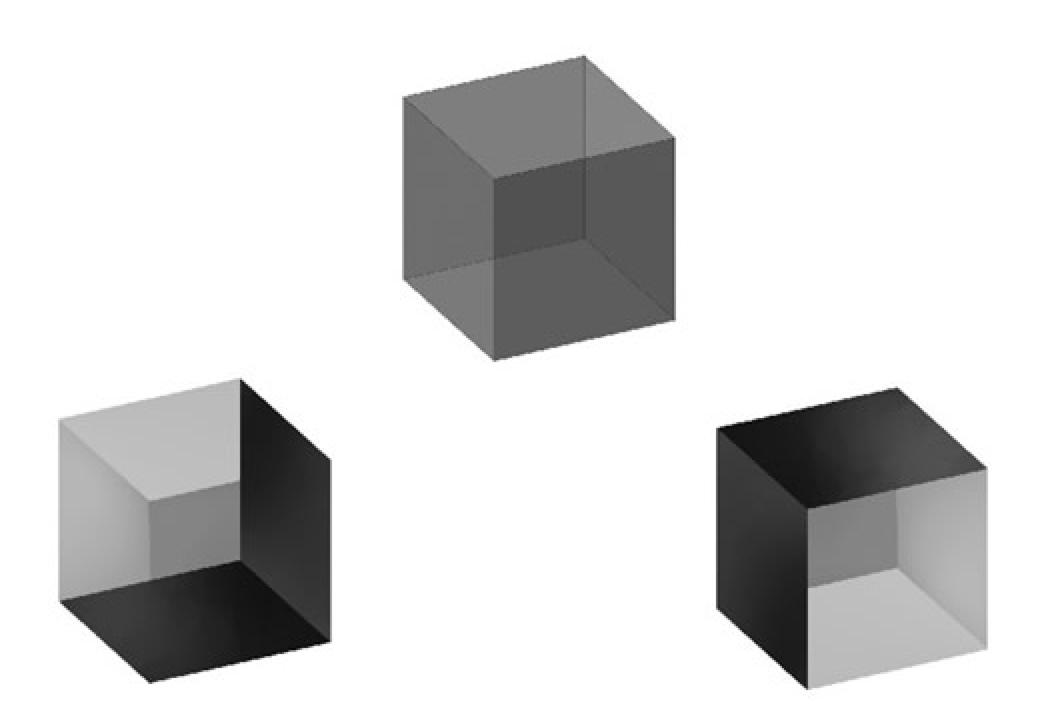
R.G. Desde luego. Creamos hipótesis partiendo de muy poca información, más allá de la evidencia, como en la ciencia. A partir de pocas observaciones, construimos un gran modelo del Universo, o un modelo de los objetos que hay a nuestro alrededor. A veces, este generador de hipótesis empieza desde cero y crea una fantasía, como les sucede, por ejemplo, a los esquizofrénicos, que generan hipótesis equivocadas.

E.P. Es decir que percibir no es sólo ver, sino experimentar, ¡incluso con el cerebro alucinando!

R.G. Creo que las percepciones son alucinaciones controladas. Existe suficiente información del ojo y los sentidos para controlarlas, pero es un proceso creativo de fantasía, de ficción, que normalmente están bajo el control de las señales sensoriales.

E.P. Déjame que te muestre otra situación imposible, en la que la mente desiste de dar una respuesta definitiva. Me refiero al famoso cubo de Necker: figura superior.

R.G. Sí, yo diría que aquí hay dos hipótesis que crea el cerebro: una es que la cara delantera es la que en la figura izquierda está sin sombrear, y la otra es la representada en la figura derecha. Y aquí no existe ninguna prueba para decir qué es correcto. En ambos casos, tu realidad perceptiva es la que está activa en tu cerebro. En este caso sólo hay dos posibles percepciones, por lo que puedes cambiar de una a otra. De hecho, en cualquier percepción existen otras posibilidades bajo el ala esperando ser seleccionadas.



Cubo de Necker. «No siempre existe una única realidad. Depende de tu cerebro.»

E.P. Quisiera que me aclararas algo cuya respuesta llevo buscando desde hace años. Mi premio de consolación es que Richard Feynman, el premio Nobel, también buscó la respuesta. Cuando nos miramos en un espejo vemos nuestra imagen reflejada al revés. Si cojo el lápiz con la mano derecha —mucha gente no se da cuenta de esto— y me miro en el espejo, me veo reflejado con el lápiz en la mano izquierda. ¿Es cierto que tras concluir un autorretrato, Rembrandt se dio cuenta de que se había retratado con el pincel en la mano izquierda?

R.G. Sí, tuvo que volver a pintar el autorretrato ya que se dio cuenta que aparecía como zurdo cuando no lo era. Es increíble. Un espejo es completamente simétrico. La pregunta, como has dicho, es por qué está girado en sentido horizontal y no vertical si no existe ningún giro óptico. Se han propuesto muchas teorías: una es que la asimetría se debe a que nuestros ojos están separados horizontalmente. También se ha sugerido que tenemos una rotación mental: que uno se imagina —o se ve— a sí mismo en el espejo y entonces se hace a sí mismo mentalmente una rotación para verse de cara. Pero estas teorías están equivocadas. La pregunta es por qué el espejo da la vuelta al reflejo de esta manera y no de otra.

E.P. ¿Y cuál es la respuesta?

R.G. Creo que la respuesta es la siguiente: si te dedicas a la óptica dirás que es un problema de óptica, si eres psicólogo dirás que es el cerebro el que da la vuelta… desde Platón se han propuesto infinidad de hipótesis absurdas. La respuesta es bastante simple. Para mirar un objeto en un espejo es necesario girarlo para colocarlo delante. Entonces, el extremo superior derecho se convierte en el extremo superior izquierdo, sencillamente por una rotación asimétrica del objeto a causa de la gravedad. El espejo refleja la rotación que has impuesto al objeto o a ti mismo para estar delante del espejo.

E.P. Parece ser que el cerebro posee estrategias para evitar la estimulación continua. Por ejemplo, cuando nos vestimos, vamos vestidos todo el día pero casi no somos conscientes de ello, ¿verdad?

R.G. Es absolutamente cierto. Se llama adaptación y empieza en los nervios periféricos. Como has dicho, una vez te has puesto la ropa ya casi no la sientes, porque sino el cerebro estaría bombardeado continuamente por información poco relevante. Si se produce un cambio importante, entonces hay que actualizar las hipótesis del cerebro. Si oímos continuamente un reloj, al cabo de un tiempo dejamos de oírlo, ni siquiera se oye dar las campanadas, porque no es importante, es algo que ya se sabe que pasará, no anuncia nada nuevo con lo que tengas que enfrentarte.

E.P. He dudado en hacerte esta pregunta, ya que estamos hablando de ciencia y no de magia, pero ¿qué relación ha existido entre la ciencia y la magia a través de los tiempos?

R.G. Creo que la ciencia nació con la magia, en la medida en que es una explicación psicológica del mundo físico. Para explicar las tormentas, se decía que se había desatado la furia de los dioses, es decir, una explicación psicológica de un fenómeno físico. Pero me parece muy preocupante que en la actualidad, como demuestra Harry Potter, a los niños les encante la magia, les fascina. La varita mágica les resulta más atractiva que un telescopio, un microscopio o un espectroscopio. Me parece muy triste, porque la ciencia es absolutamente maravillosa:

yo no usaría la palabra magia, pero la ciencia es mejor que la magia porque funciona, presenta interrogantes maravillosos y respuestas increíbles, y controla el Universo mucho mejor que la magia.

E.P. Quisiera formularte una última pregunta. Eres prácticamente el inventor de una profunda reflexión acerca de la percepción y las imágenes de los objetos. Tras tantos años observando, investigando, disertando y escribiendo sobre esta cuestión, ¿crees que todas las percepciones son ilusorias? ¿O con los años sientes que el mundo exterior, el Universo, es más o menos lo que genera el cerebro?

R.G. Es una pregunta muy interesante. Creo que realmente existe un Universo ahí fuera, es absurdo decir que todo es un sueño. De hecho, si todo fuera un sueño se perdería la palabra sueño: las palabras tienen que poder contrastarse con la realidad para poseer significado. Si dices que todo es una ilusión, la palabra ilusión desaparece, pierde el sentido. La cuestión es cuál es la verdad de referencia a partir de la cual decimos que algo es verdad o es una ilusión. Yo creo que la percepción utiliza una física de sentido común una «física de cocina». En cambio, en la mecánica cuántica o en la teoría de la relatividad la física describe una realidad completamente diferente. La realidad de la percepción es una física de sentido común —la de tocar, coger objetos, comer alimentos—. La percepción debe aplicarse al mundo para poder habitarlo: los peligros, la comida, los compañeros... son la única realidad para la percepción.

E.P. Sostienes que el cerebro no existe para hallar la verdad, sino para sobrevivir.

R.G. Sí. Las sociedades necesitan un acuerdo para trabajar colectivamente en la construcción de una casa o en la fabricación de utensilios de cocina. Se necesitan ideas preconcebidas para sobrevivir, creencias sociales que nos permitan llegar a una acción coordinada y pactada. Nada de esto guarda relación con la verdad absoluta.

La verdadera raíz de la magia reside en las limitaciones del cerebro humano

ROGER HIGHFIELD

«La magia nace de las limitaciones del cerebro».

A Richard Gregory le duele que los niños estén fascinados por la magia de Harry Potter, en lugar de por los misterios de la ciencia. Habría que preguntarse si la ciencia y la magia están tan alejadas como se cree, siendo idéntico su origen.

ROGER HIGHFIELD. En mi libro *La magia de Harry Potter* argumento que el cerebro es el mago más poderoso que pueda existir jamás. Y explico que los magos se aprovechan de las limitaciones del cerebro, como su incapacidad para dispersar la atención: cuando se concentra en una cosa, no puede estar pendiente de otra. Por eso los prestidigitadores reclaman la atención del cerebro hacia un lugar erróneo —la mano derecha—, mientras hacen desaparecer una moneda o un conejo con la izquierda. Psicólogos experimentales como Daniel Simons han realizado experimentos maravillosos para demostrar nuestras limitaciones. Simons pidió a sus estudiantes que preguntaran una dirección a gente del campus universitario, y mientras los interpelados reflexionaban, una tercera persona cargada con una puerta inmensa se interponía entre ambos y sustituía al estudiante. Si el primer estudiante era bajito, el otro era alto, si uno era moreno, el otro era rubio. Pues sólo la mitad de los encuestados se dio cuenta de la broma, absorto como estaba su cerebro dilucidando la pregunta que le habían formulado. Hay otro experimento fantástico que yo mismo he presenciado con público en las gradas. Se trataba de un video de un partido de baloncesto. Se le pidió a un centenar de personas que

contara el número de veces que la pelota botaba en el suelo, se les repetía que eso era lo único que tenían que hacer y que intentaran no descontarse. Tras el experimento, casi todas las respuestas coincidían, pero cuando se les preguntó si habían notado algo extraño durante el partido, sólo cinco de los cien individuos que participaban en el experimento se habían dado cuenta de que un gorila se había colocado en medio de la pantalla y se había dado unos cuantos golpes en el pecho antes de desaparecer corriendo. Cuando se proyectó de nuevo el vídeo a los noventa y cinco participantes restantes para que se fijaran en si había algo extraño, su cerebro se concentraba en eso, en lugar de contar los botes de la pelota, y todos veían al gorila. La capacidad de concentración del cerebro funciona excluyendo todo lo demás.

EDUARDO PUNSET. Creo que todos los que damos clase hemos reflexionado más de una vez sobre los mecanismos y la duración del poder de concentración de los estudiantes. Te contaré una anécdota muy ilustrativa. La multinacional japonesa Sony y uno de sus vicepresidentes, Mario Tokoro, organizaron hace años un seminario en la Provenza francesa y convocaron a una docena de expertos de todo el mundo en procesos de aprendizaje. La idea consistía en descubrir si del funcionamiento de la memoria y la familiarización con el entorno de los robots, como el AIBO, se desprendían enseñanzas que pudieran aplicarse al aprendizaje de los alumnos de carne y hueso. Entonces, yo me preguntaba cuál debería ser la duración máxima de los reportajes en 3D que se insertaban en el programa *Redes* de TVE, dedicado a la comprensión pública de la ciencia. Sospechaba que eran demasiado largos, habida cuenta de la capacidad retentiva de la audiencia. Había decidido no exceder el límite de tres minutos, lo que provocó los alaridos de mi equipo de guionistas científicos, que daban por sentado que en tres minutos no se puede explicar nada con la pretensión de ser científico. Después del seminario convocado por la Sony, reduje el límite a un minuto y medio. Los japoneses presentaron los resultados de experimentos efectuados con alumnos a los que tres profesores

sucesivos explicaban un texto parecido: sólo diferenciaban correctamente lo expuesto por cada profesor durante los primeros cuarenta segundos.

R.H. Si me preguntas cuál es la verdadera raíz de toda la magia, creo que radica en las limitaciones del cerebro humano. Incluso mientras me miras, hay dos puntos ciegos en tu campo de visión, porque el nervio óptico se une a la retina en un punto que no tiene células fotosensibles, por eso se le llama punto ciego. Sin embargo, como los puntos ciegos de ambos ojos no coinciden, el cerebro consigue formar la imagen completa. En realidad, aunque cerrases un ojo tampoco podrías verlo, ya que el cerebro nos engaña y completa la imagen. De ahí que no se desvelara la existencia del punto ciego hasta el siglo XVII.

E.P. Hacía la mitad del siglo XIX, coincidieron en Europa dos fenómenos: un auge del conocimiento científico y el crecimiento de las grandes urbes, en las que se organizaban espectáculos para el gran público. De esta combinación surgieron grandes prestidigitadores, que usaban en sus trucos de magia los últimos descubrimientos en electromagnetismo, todavía desconocidos para la mayoría.

R.H. La ignorancia lleva a pensar en la magia. Si habláramos con alguien del imperio romano o de la edad media, seguro que vería magia por todos lados. La sociedad contemporánea está repleta de inventos que podrían parecer mágicos. La televisión es sólo un ejemplo. Se cree que los primeros reyes eran magos que engañaron a los demás para convencerles de sus poderes sobrenaturales. En general, vemos menos cosas de las que creemos ver, y los magos se aprovechan de la forma de funcionar de nuestro cerebro, que siempre se dirige hacia lo más probable. Cuando el mago hace algo improbable, captura la atención del espectador y aprovecha ese momento para realizar sus trucos. El arma más poderosa de la magia es captar la atención y el mecanismo de la percepción. Por ello, muchas veces la persona que descubre el truco es la que pasaba por allí y no estaba siguiendo la actuación, o la que ha sido distraída por una llamada al móvil, por ejemplo. Ocurre lo mismo con la creatividad. Los instantes más creativos de los grandes científicos no suelen coincidir con sus horas de máxima concentración.

Es cuando nuestra atención no está completamente concentrada en una pregunta cuando nos damos cuenta de detalles que habíamos despreciado y que, tal vez, son la clave. Precisamente por esto es mucho más difícil engañar a un animal que a un ser humano. Cuando el mago señala con su dedo a la Luna para distraer la atención, el primate —y algunos homínidos menos fantasiosos, todo sea dicho—, se fijan en el dedo.

E.P. Probablemente por eso surgió la superstición. El cerebro no soporta la idea de no controlar la situación ni saber qué demonios está ocurriendo. Al desconocer la causa, empezamos a buscar patrones de conducta, regularidades, simetrías para atisbar razones primero, y luego predecir. Los matemáticos, como Ian Stewart, dicen que así empezaron las matemáticas. Tú sugieres una idea muy interesante al respecto: cuando se logran identificar en patrones, disminuye la ansiedad. Por tanto, la superstición pervive porque reduce el estrés.

R.H. Es cierto. Es comprensible que el reconocimiento de patrones estuviera en la base de la supervivencia en la historia de la evolución. Si descubres que un leopardo almacena siempre sus presas en el mismo árbol, puedes aprovechar su ausencia para saciar el hambre. Si aprendes en qué estación florecen determinadas plantas, o cuándo dan fruto ciertos árboles, entonces aumentan tus posibilidades de sobrevivir. El cerebro ha evolucionado de manera que está optimizado para descubrir patrones de comportamiento. El problema yace en que existen falsos patrones o simetrías. Los indios mesoamericanos creían que había que alimentar al Sol con sangre. En las poblaciones primitivas siempre ha existido el temor de que no volviera a amanecer. Llevaban a cabo el sacrificio de sangre y, efectivamente, el Sol salía y creían que el sacrificio funcionaba. El miedo a que el Sol no reapareciera con todo su esplendor está detrás de festividades paganas que, posteriormente, fueron incorporadas al calendario cristiano, como la celebración de la Navidad. La gente se rodeaba de árboles de hoja perenne y de animales que resistían el frío del invierno para mantener la esperanza de que el calor del Sol volvería. Creían que las celebraciones con velas y árboles de hoja perenne acercarían la

primavera. En otras palabras, se había identificado un patrón falso. Algo parecido ocurre en las sociedades modernas. Encontramos motivos de ansiedad por todas partes. A pesar de los progresos tecnológicos, yo no creo que los temores a contraer un cáncer o la inquietud por la salud de nuestros hijos hayan disminuido en nuestra sociedad. Las supersticiones contribuyen a reducir el estrés. En cierto modo, creo que las supersticiones son racionales, porque constituyen una especie de autoterapia para superar los momentos difíciles. Si alguien cree que mordisqueando la punta del bolígrafo se sentirá más seguro y relajado, es absolutamente irracional y maravilloso a la vez.

E.P. Abundando en lo que dices, recuerdo un experimento con ratones que se realizó hace muchos años y del que casi no se habló en su día, precisamente porque todavía no estaba en boga la idea que apuntabas. Se sometía a cinco ratones a una corriente eléctrica pasajera e inesperada, que pasaba cada cierto tiempo al margen de lo que hicieran los ratones. Todos recibieron los mismos impactos, pero uno de ellos disponía de un interruptor que, si era capaz de conectarlo, evitaba el shock eléctrico para todos ellos. Ya conoces el resultado: el sistema inmunológico de los ratones se derrumbó y murieron víctimas de la amenaza incesante e incontrolada. Pero el que aguantó más, con creces, fue el que podía manejar el interruptor y tenía la sensación, por tanto, de que controlaba mínimamente la situación. Desde entonces, siempre les digo a mis alumnos que no acepten nunca un trabajo en el que no controlen algo. Cambiemos de tema para no entristecernos. ¿Existe alguna posibilidad de que la ciencia reduzca drásticamente la superstición? Al fin y al cabo, la tecnología está fabricando trucos que se confunden con el mundo de los fantasmas.

R.H. El escritor Arthur C. Clark dice que cualquier tecnología avanzada se parece a la magia. Yo he visto chorros de niebla sobre los que se proyecta una pared, de manera que puedes atravesarla caminando. Es la tecnología de un artista, pero a mucha gente le parece pura magia. Volviendo al cerebro humano, constatamos que las imperfecciones de la vista hacen que se vean figuras con disfraces o alucinaciones que parecen fantasmas. Conozco a un hombre que asegura haber visto a su

vecino cortar el seto del jardín con un sombrero amarillo, y que el sombrero seguía allí, suspendido en el aire, cuando el vecino ya fue. El cerebro recibe de los ojos una información imperfecta, al tiempo que intenta imponer patrones sobre estos datos inexactos. El resultado son las brujas, personajes ficticios o los fantasmas. Es comprensible que se crea en los fantasmas si se vive en una sociedad preindustrial que cree en ellos. Examinemos el caso de la parálisis del sueño, *sleep paralysis* en inglés. Cuando te despiertas de un sueño profundo, el cerebro sigue conectado a los sueños. Es un estado de entresueños, de duermevela. Yo mismo lo he experimentado: vi una sombra en la pared que parecía un *cowboy* apuntándome con su revólver. Pensé que me había vuelto completamente loco, pero fui presa de un pánico paralizante y tardé diez minutos en darme cuenta de que era ridículo creer que había un cowboy en mi dormitorio. ¿Te imaginas a la gente hace cien o doscientos años, despertándose con la parálisis del sueño, rodeados por una sombra envolvente parecida a un brujo, una bruja o un enano? En realidad eran muy sinceros cuando decían que habían visto fantasmas, porque creo en la capacidad del cerebro humano para confundirnos con este tipo de trucos.

E.P. El psicólogo inglés Nicholas Humphrey sostiene que el proceso de soñar, que permite romper las barreras del espacio y del tiempo, es mucho más sofisticado y complejo que el proceso de pensar. A veces, imagino que tal vez todo funcionaría mejor si soñáramos en lugar de pensar. Tal vez la magia subsistiría.

R.H. Yo creo que siempre existirá la magia. La mecánica cuántica, que es la teoría de mayor éxito de todas las conocidas, puede predecir el salto de los electrones en los átomos de hidrógeno con una gran precisión. Pero el propio Richard Feynman decía que nadie puede entender la mecánica cuántica, porque es una teoría puramente matemática y nadie puede conceptualizarla en la mente. En cierta manera, yo creo que la mecánica cuántica es magia: nos da respuestas, pero no podemos intuir fácilmente de dónde provienen esas respuestas.

E.P. Y luego está el miedo a la propia ciencia. No me digas que no es paradójico que, en plena irrupción del método científico en la cultura heredada, disminuyan las vocaciones científicas. Cuando empecé a pensar en este libro hace años, me dije que intentaría por todos los medios enmascarar que versa sobre los orígenes de la mente, la vida, el Universo y su futuro. No quería que la palabra ciencia apareciera en el título.

R.H. Creo que la comunidad científica tiene parte de la culpa. A mi juicio, si la ciencia hace afirmaciones drásticas, en lugar de describir la complejidad y la incertidumbre de la realidad, la gente se inquieta. Te pondré un ejemplo en el que se ha llegado a desatar, como antaño, una verdadera caza de brujas. Cuando se produjo la epidemia de las vacas locas en el Reino Unido, la gente temía que la enfermedad se transmitiera a los humanos. Los científicos, en lugar de admitir que ignoraban la respuesta, se dedicaron durante años a explicar que la enfermedad era característica de las ovejas —se la conocía por el nombre de *scrapie*—, y que de ninguna manera podía afectar a los humanos. Poco después un gato murió de la misma enfermedad y, en 1968, Gajdusek logró transmitir a chimpancés la nueva variante de la enfermedad de Creudzfeldt Jacob, la encefalopatía espongiforme bovina (EBB). Entonces, la gente se sintió engañada por la comunidad científica. La ciencia es, aunque parezca un contrasentido, arcaica: tiene su argot y su práctica, basada en ir refinando la teoría constantemente. La ciencia es muy diferente de la magia. Cuando los científicos hablan de priones anormales, de proteínas dobladas o de barreras de especies, hay que creerlos. Por eso, si durante años han sostenido una idea y de pronto dicen que se habían equivocado y que la enfermedad se ha extendido a los humanos, tenemos la misma reacción que la gente hace cien o doscientos años cuando pedían a gritos que se quemara a una bruja en la hoguera.

E.P. Tal vez la ciencia deba olvidarse del día a día y concentrarse más en lo que los anglosajones llamáis los *unkown unknowns,* los grandes enigmas desconocidos y desconcertantes. ¿No deberíais preguntaros

por los impactos de los meteoritos, el envejecimiento del planeta que, al parecer, ha iniciado su etapa de senectud, la irrupción de un *tsunami* arrasando las costas o el fin de la biodiversidad?

R.H. De alguna manera significaría adentrarse en la ciencia-ficción y la magia. Pero es verdad que ya empezamos a pensar de esta manera. Los gobiernos comienzan a considerar la conquista del espacio, los impactos de asteroides o de enfermedades mortales que pueden devastar todo el planeta. Pero hoy por hoy, lo único que se puede hacer es estar al acecho e intentar prevenir.

E.P. ¿Existieron los dragones? Y si existieron, ¿cómo escupían fuego?

R.H. Yo sí creo que existieron los dragones en la mente de los antiguos. Adrian Meyer realizó una investigación muy interesante en Estados Unidos sobre las leyendas de dragones y grifos, y extrajo conclusiones muy convincentes. Esos mitos aparecieron cuando las civilizaciones antiguas encontraron fósiles de dinosaurios e intentaron hallar una explicación. Los antiguos no tenían ni idea del tiempo geológico, ni de esas criaturas que vivieron hacía decenas de millones de años. Probablemente, pensaron que habían muerto ese día o unos meses antes. En el caso del mito del grifo —esa bestia alada de cuatro patas y un gran pico, que atesoraba oro cerca de los desiertos de Mongolia—, se da la circunstancia de que en ese lugar del mundo se han encontrado montones de Protoceratops. Por tanto, se puede imaginar la sorpresa de los buscadores de oro en aquellas arenas rojizas azotadas por el viento al encontrar los restos de criaturas de más de ocho pies de largo y un gran pico.

E.P. Me parece lógico que la leyenda le pusiera alas a la bestia. Como sabes, los antecesores de las aves son los dinosaurios, que persiguiendo a sus presas a zancadas cada vez más rápidas acabaron volando. O, siendo más fiel al darwinismo, aquellos dinosaurios —como el Microraptor gui— que gracias a mutaciones aleatorias fueron desarrollando alas, se adaptaron mejor a su entorno y sus genes se impusieron en el *pool* general de la especie.

R.H. Quizás esos hombres temieron la existencia de otras bestias en un nido cercano y la mentalidad de la época les llevó a racionalizar su inquietud inventando la leyenda del grifo. Si se observa la parte dorsal de la bestia, los omoplatos particularmente, se entiende por qué la gente creía que las alas arrancaban de allí. Igual debió ocurrir con los dragones. Resulta muy plausible que los antiguos chinos descubrieran ciervos fósiles con cornamenta en una cueva y, si te fijas, los dragones chinos también tienen a menudo cornamenta. Eran esqueletos suficientemente grandes para pensar que se trataba de restos de dragones. Ocurre lo mismo con el fuego o el ruido. Se ha sugerido que la visión de un meteorito surcando el espacio como una bola ardiente puede recordar uno de esos grandes animales escupiendo fuego. Es muy probable que todos los elementos de esos mitos procedan de fenómenos naturales.

E.P. En tu último libro citas a unos científicos que dicen que los búhos no son buenos animales de compañía. No estoy de acuerdo. Durante muchos años, tuve una lechuza amaestrada. Le daba intestinos de cabra para comer y cebolla cuando cambiaba el plumaje. De noche se iba y regresaba al alba. Si me preguntas qué fue lo más triste de mi infancia, te diré que fue el día en que la lechuza no supo volver. Mi padre era médico rural en un pueblecito del Priorato catalán que se llama Vilella Baixa, no porque fuera bajo, ya que está escarpado en una cima al pie de una cordillera, sino porque había otra Vilella todavía más alta a sólo tres kilómetros de distancia. Cuando tuve que ir al colegio de secundaria, mi padre buscó un lugar menos aislado y ejerció de médico en un núcleo urbano cercano a la capital de provincia, Tarragona, llamado Vilaseca de Solcina. La lechuza me siguió, pero nunca supo volver a encontrar nuestra nueva casa. Yo la esperé desvelado muchas madrugadas, en vano.

R.H. Cuando Harry Potter popularizó los búhos —él los utiliza como mensajeros—, surgió la preocupación de que los niños quisieran tener búhos como animales de compañía. Creo que tienes razón, se podría tener un búho pequeño, de los que se alimentan de ratones, los búhos pigmeos o elfos, que se nutren de insectos, lechuzas, como tu de niño.

Pero Lucy, un personaje del libro, tiene un búho águila que despliega sus alas hasta unos seis pies y puede levantar a un perro del suelo. La idea de que un niño de once años pueda cuidar de un búho águila que acabe devorándolo…

E.P. ¿Es razonable imaginar que los búhos pueden llevar correo como las palomas mensajeras?

R.H. He estudiado el tema a fondo. Existen varios experimentos que arrojan luz sobre el comportamiento de los búhos. En primer lugar, ¿pueden recorrer largas distancia para entregar el correo? La respuesta es afirmativa. Existen unos búhos en el Reino Unido que pueden volar y transportar un paquete desde aquí hasta la Academia Bow Batons, que aparece en los libros de Harry Potter. No sólo es posible, sino que lo harían muy bien puesto que poseen un sistema de visión nocturna...

E.P. El mejor sistema de visión.

R.H. Sí, de los mejores, probablemente. Nunca me atrevo a decir «el mejor», no sea que salga un extraño insecto que lo supere. Pero sí, sus ojos están diseñados para apreciar cualquier partícula de luz. Algunas variedades de búhos tienen una capa extrarreflectante detrás de los ojos para conseguir que la luz vuelva a la parte sensible de la retina. Y se ha estudiado su memoria en la Universidad de Stanford, en California, y tienen buena memoria. De hecho, a un búho joven se le pueden enseñar trucos. ¿Y la inteligencia de los búhos? Todavía se han realizado pocos experimentos, pero si se analizan los resultados conseguidos con otras aves como los grajillas, las urracas y los cuervos…

E.P. Los cuervos de Nueva Caledonia.

R.H. Son increíbles, pueden fabricar herramientas y perfeccionarlas. De manera que, volviendo a los búhos, si se considera todo en conjunto, es decir la distancia que pueden recorrer, la memoria y la capacidad intelectual, si se asemeja a la del cuervo de Nueva Caledonia, su servicio de correos sería mejor que el británico. No sé si superaría el español…

E.P. ¿Sabes qué me fascina de los búhos? Su vuelo suave, casi ni se oyen, ¿cómo lo hacen? Ojalá los humanos nos desplazáramos como los búhos.

R.H. La disposición de las plumas les permite volar de forma increíblemente silenciosa. En nuestra sociedad, identificamos los búhos con la sabiduría, como en la Grecia clásica. Pero en el Reino Unido, sobre todo en la época de Shakespeare, los búhos eran siniestros y terroríficos, quizá porque son animales nocturnos, muy silenciosos, con esos grandes ojos que parecen saberlo todo.

Otras lecturas

A continuación se apuntan obras seleccionadas de los científicos entrevistados, y otras que, a juicio del autor, han marcado la comprensión de los temas tratados. No se pretende elaborar una relación exhaustiva.

Capítulo 1

Victor S. Johston, *Why We Feel: The Science of Human Emotions*, Perseus publishing, 1999.
Steven Strogatz, *Sync: The Emerging Science of Spontaneous Order*, Hyperion Press, 2003.
—, *Nonlinear Dynamics and Chaos: With Applications to Physics, Biology, Chemistry and Engineering*, Perseus Publishing, 1994.
Nancy Etcoff, *Survival of the Prettiest:The Science of Beauty*, Doubleday, 1999 (Traducción *La supervivencia de los más guapos: La ciencia de la belleza*, Editorial Debate, 2000).
Jonathan Miller, *The body in question*, Pimlico, 2000.
Natalie Angier, *Woman. An intimate geography*, Vintage 1999.

Capítulo 2

Eugene Chudnovsky y Javier Tejada, *Introduction to Magnetism*, Rinton Pr Inc, 2004.
—, *Macroscopic Quantum Tunneling of the Magnetic Moment*, Cambridge University Press, 1998.
Sheldon L. Glashow, *The Charm of Physics (Masters of Modern Physics)*, Springer Verlag, 1991.
—, *From Alchemy to Quarks: The Study of Physics As a Liberal Art*, Brooks Cole, 1994.
—, *S.S.M. from Alchemy to Quarks*, Brooks/Cole Publishing Company, 1998.
David Deutsch, *The Fabric of reality*, Penguin books, 1997. Brian Green, *The Elegant Universe*, W.W.Norton & Company,1999.
Alan Goth, *The inflationary universe*. Perseus Books, 1997. Steven Weinberg, *The first three minutes: A modern view of the origin of theUniverse*, Basic Books, 1977.
Martin Rees, *Before the beginning. Our Universe and others*, Touchstone Books. 1997.
John y Mary Gribbin, *The men who measured the Universe*, Ikon Books, 2003.

Capítulo 3

François Jacob, *Le Jeu des possibles*, Editions Fayard, 1995 (Traducción : *El juego de lo posible*, Grijalbo, 1997).
—, *The Statue Within*, Basic Books, 1989 (Traducción: *La estatua interior*, Tusquets editores, 1989).
—, *La logique du vivant, une histoire de l'hérédité*, Gallimard, 1976. (Traducción: *La lógica de lo viviente. Una historia de la herencia*, Editorial Laia, 1973)
—, *Sexuality and the Genetics of Bacteria*, NY Academic Press, 1961.
James D.Watson, *The double helix*, Penguin Group, 1968.

John Gribbin and Jeremy Cherfas, *The first Chimpanzee. In search of human origins*, Penguin Books, 2000.
Donald Johanson and Maitlanda A.Edey, *Lucy. The beginning of Humankind*, Penguin, 1990.
Schrodinger E., *What is Life*?, Cambridge University Press, 1944.
Miller S.L., Orgel L.E., *The origins of life*, Prentice Hall, 1973.
Oparin A.I., Pasinsky A.G. Braunshtein A.E., Pavloskava T.E. *The origin of life on the Earth*, Pergamon Press, 1959.
Bill Bryson, *A short history of nearly everything*. A Black Swan Book, 2004.

Capítulo 4

James Lovelock, *Gaia*, Oxford University Press, 2000.
—, *The ages of Gaia*, W.W. Norton, 1988.
—, *The Great Extinction*, Doubleday & Co, 1983.
Edward O. Wilson, *The Future of Life*, Alfred A. Knopf, 2002. (Traducción: *El futuro de la vida*, Galaxia Guttenberg-Círculo de Lectores, 2002).
—, *Sociobiology*, Belknap Press, 2000.
—, *Consilience: The Unity of Knowledge*, Thorndike Press, 1998. (Traducción: *Consilience: La Unidad del Conocimiento*, Galaxia-Guttenberg, 1999)
Peter D.Ward & Donald Brownlee, Rare earth. *Why complex life is uncommon in the Universe*, Copernicus books, 2004.
—, *The life and death of planet earth*, Piatkus, 2002.

Capítulo 5

Robert Hare, Without conscience, Guilford Press,
1999. (Traducción: *Sin conciencia*, Paidós, 2003).
—, *Psychopathy: Theory of Research*, Willey, 1970
Jonathan Pincus, *Base instincts: What Makes Killers Kill*?, Last Gasp, 2002.
Lewis Wolpert, *The unnatural nature of Science*, Faber& Faber, 1992.
—, *Malign Sadness*.
Richard Restach, *The New Bracn*, Rodale Ltd, 2004.

Capítulo 6

Rodolfo Llinás, *El cerebro y el mito del yo: el papel de las neuronas en el pensamiento y el comportamiento humano*, Belacqua, 2003.
—, *I of the Vortex: From Neurons to Self*, Bradford Book, 2001.
—, *The Squid Giant Synapse*, Oxford University Press, 1999.
—, *Workings of the Brain*, Bt Bound, 1999.
Antonio Damasio, *Looking for Spinoza*, Harvest Books, 2003.
—, *The Feeling of What Happens*, Harvest Books, 2000. (Traducción: *Sentir lo que sucede*, Andrés Bello, 2000).
—, *Descartes' Error*, Avon, 1995. (Traducción*: El error de Descartes*, Crítica, 2001).
Joseph Ledoux, *The Self*, New York Academy of Sciences, 2003.
—, *Synaptic Self*, Penguin, 2003.
—, *The emotional brain*, Simon & Schuster, 1996. (Traducción: *El cerebro emocional*, Ariel, 1999).
Susan Greenfield, *The Human brain*, Phoenix Paperback, 2003.

Howard Gardner, *Intelligence reframed. Multiple intelligences for the 21stcentury*, Basic Books, 1999.
V.S. Ramachandran y Sandra Blakeslee, *Phantoms in the brain*, Fourth Estate Ltd., 1999.

Capítulo 7

Daniel Dennett, *Freedom Evolves*, Viking Press, 2003. —, *Brainchildren*, MIT Press, 1998.
—, *Kinds of Minds*, Basic Books, 1997.
—, *Darwin's dangerous idea*, Touchstone Books, 1996. —, *Consciousness explained*, Back Bay Books, 1992.
Deepak Chopra, *The Spontaneous Fulfillment of Desire: Harnessing the Infiniete Power of Coincidence*, Harmony Books, 2003.
—, *Magical Mind, Magical Body: Mastering the Mind/ Body Connection for Perfect Health and Total Well-Being*, Nightingale-Conant Corporation, 2003.
—, *Creating Affluence: The A- to Z- Steps to a Richer Life*, Amber-Allen Publishing, Octubre 1998.
—, *The Path to Love: Spiritual Strategies for Healing*, Three Rivers Press, 1998.
—, *The Seven Spiritual Laws of Success: A Practical Guide to the Fulfillment of Your Dreams*, Amber-Allen Publishing, 1995.

Capítulo 8

Paul Davies, *How to Build a Time Machine*, Penguin, 2001.
—, *The Fifth Miracle*, Penguin Viking, 1998.
—, *The Big Questions: Paul Davies in Conversation with Phillip Adams*, Penguin, 1996.
—, *Are we alone?*, Basic Books, 1995.
—, *About Time*, Simon & Schuster, 1995.
—, *The last three minutes*, Basic Books, 1994.
Nicholas Humphrey, *The Mind Made Flesh: Essays from the Frontiners of Evolution and Psychology*, Oxford University Press, 2002.
—, *How to Solve the Mind-Body Problem*, Imprint Academic, 2000.
—, *Soul Searching: Human Nature and Supernatural Belief*, Chatto & Windus, 1995.
—, *A History of the Mind*, Chatto & Wiundus, 1992. (Traducción: *Una historia de la mente*, Gedisa, 1995).
—, *The Inner Eye*, Faber & Faber, 1986 (Traducción: *La mirada interior*, Alianza Editorial, 2001).
—, *Consciousness Regained: Chapters in the Development of Mind*, Oxford University Press, 1983.
George Christos, *Memory and dreams. The Creative Human Mind*, Rutgers University Press, 2003.

Capítulo 9

Philip V. Tobias y otros, *Humanity from Naissance to Coming Millenia*, Wits University Press, 1999.
Harry Jerison, *Brain size and evolution of mind*, Amer Museum of Natural History, 1982.
—, *Evolution of the brain and intelligence*, Academic Press, 1974.
Steve Pinker, *The Blank Slate*, Penguin Putnam, 2002 (Traducción: *La tabla rasa: la negación moderna de la naturaleza humana*, Paidós, 2003).
—, *Words and Rules*, Basic Books, 1999.
—, *How the Mind Works*, W W Norton & Co Inc, 1997. (Traducción: *Cómo funciona la mente*, Ediciones Destino, 2000).
—, *The Language Instinct*, Harpercollins, 1994. (Traducción: *El instinto del lenguaje: cómo crea el lenguaje la mente*, Alianza Editorial, 1995).

Diana Deutsch, *The Psychology of Music*, Academic Press, 1982.
Luigi Luca Cavalli-Sforza, *Genes, Peoples and languages*, Allen Lane The Pinguin Press, 2000.
Michael C, Corbalis, *From Hand to Mouth. The Origins of Language*.Princeton University Press, 2002.

Capítulo 10

Stephen Jay Gould, *Wonderful life. The Burgess Shale and the Nature of History*, W.W. Norton and Company, 1989. (Traducción: *La vida maravillosa*, Círculo de Lectores).
—, *The Hedgehog, the Fox, and the Magister's Pox*, Harmony Books, 2003. (Traducción: *Érase una vez el erizo y el zorro*, Crítica, 2004).
—, *The Structure of Evolutionary Theory*, Harvard University Press, 2002. (Traducción: *La estructura de la teoría de la evolución*, Tusquets editores, 2004).
—, *Full House: The Spread of Excellence From Plato to Darwin*, Harmony Books, 1996.
—, *Dinosaur in a Haystack*, Harmony Books, 1995. (Traducción*: Un dinosaurio en un pajar*, Crítica, 1997).
—, *The Panda's Thumb*, W.W. Norton, 1980. (Traducción: *El pulgar del panda*, Crítica, 2001).
Richard Dawkins, *A Devil's Chaplain*, Weidenfeld & Nicholson, 2003.
—, «Unweaving the Rainbow», Houghton Mifflin Co, 1998 (Traducción: *Destejiendo el arco iris*, Tusquets Editores, 1999).
—, *River out of Eden*, Basic Books, 1995.
—, *The Blind Watchmaker*, W.W. Norton, 1986.
—, *The Selfish Gene*, Oxford University Press, 1976. (Traducción: *El gen egoísta*, Salvat Editores, 2000).
Jonathan Weiner, *Time, Love, and memory*, First Vintage Books, 2000.
Janet Radcliffe Richards, *Human Nature after Darwin*, Routledge, 2000.
Matt Ridley, *Genome. The autobiography of a species in 23 chapters*, Fourth State, 1999.
—, *The Red Queen. Sex and the evolution of human nature*, Penguin Books, 1993.
Alan Cutler, *The seashell on the Mountaintop*, Penguin Group, 2004.

Capítulo 11

John T. Bonner, *Lives of a Biologist: Adventures in a Century of Extraordinary Science*, Harvard University Press, 2002.
—, *First Signals: The Evolution of Multicellular Development*, Princeton University Press, 2001.
—, *Sixty years of Biology*, Princeton University Press, 1996.
—, *The Evolution of Culture in Animals*, Princeton University Press, 1980.
Nicholas J. Mackintosh, *IQ and Human Intelligence*, Oxford University Press, 1998.
—, *Learning and Skills*, Addison Wesley Longman, 1995.
—, *The Psychology of Animal Learning*, Academic Press, 1974.
Jordi Sabater Pi, *Okorobikó*, National Geographic/La Magrana, 2003.
—, *Copito para siempre*, Península, 2003.
—, *El traç de la natura*, Edicions 62, 2001.
Robert Wright, *Moral animal. Why we are the way we are*,Vintage Books,1994.

Capítulo 12

Tom Kirkwood, *The End of Age: Why Everything About Aging Is Changing*, Renouf Pub Co Ltd, 2001. (Traducción: *El fin del envejecimiento*, Tusquets Editores, 2000).

—, *The Time of Our Lives: The Science of Human Aging*, Oxford University Press, 1999.
Frank J. Tipler, *La física de la inmortalidad*, Alianza Universidad, 1994.
Jared Diamond, *Guns, Germs and steel. A short History of everybody for the last 13.000 years*, Vintage, 1997.
Carl Sagan, *Billions & Billions*, Random House Inc., 1997.
Jonathan Weiner, *Time*, *Love, and Memory*, First Vintage Books, 2000.

Capítulo 13

Lynn Margulis y Michael F. Dolan, *Early Life*, Jones & Bartlett Publishers, 2002.
Lynn Margulis y Dorion Sagan, *Acquiring Genomes: The Theory of the Origin of the Species*, Perseus Books Group, 2002. (Traducción: *Captando genomas*, Editorial Kairos, 2003).
Lynn Margulis, *Symbiotic Planet: A new look to evolution*, Basic Books, 1998. (Traducción: *Planeta simbiótico: un nuevo punto de vista sobre la evolución*, Debate, 2002).
Lynn Margulis, Dorion Sagan y Niles Eldredge, *What is life?*, Simon & Schuster,1995. (Traducción al catalán: *Què és la vida?*, Editorial Proa, 1997).
Dorothy H Crawford, *The Invisible enemy*, Oxford University Press, 2002.
Phillip Ball, *Stories of the invisible*, Oxford University Press, 2002.
Isaac Asimov, *Atom. Journey across the subatomic cosmos*, Truman Talley Books, 1992.

Capítulo 14

Luis Ruiz de Gopegui, *82 Erídano*, Equipo Sirius, 2003.
—, *Rumbo al Cosmos*, Temas de Hoy, 1999.
—, *Hombres en el espacio: pasado, presente y futuro*, McGraw-Hill, 1996.
—, *Mensajeros Cósmicos*, McGraw-Hill, 1994.
—, *Extraterrestres, ¿mito o realidad?*, Equipo Sirius, 1992.
Richard Preston, *First Light.The search for the Edge of the Universe*, Gorgi Books,1998.
Ray Kurzweil, *The age of spiritual machines*, Phoenix Paperback,1999.

Capítulo 15

Richard Gregory, *Illusion: Making Sense of the Senses*, Oxford University Press, 2002.
The Mind Makers, Weidenfeld and Nicolson, 1998.
—, *Mirrors in Mind*, W.H.Freeman/Spektrum, 1995.
—, *Even Odder Perceptions*, Routledge, 1993.
Roger Highfield, *The Science of Harry Potter*, Viking Books, 2002.
Roger Highfield y Paul Carter, *The Private Lives of Albert Einstein*, St Martin's Press, 1995.
Malcolm Gladwell, *The tipping point. How little things can make a great difference*, Back Bay Books, 2000.
Nassim Nicholas Taleb, *Fooled by randomeness. The hidden role of chance in Life and in the Markets*, Thomson Texere, 2004.
John L. Casti, *Paradigms regained. A further Exploration of the mysteries of Modern Science*, Harper Collins, 2000.

Cara a cara con la vida, la mente y el Universo
Eduardo Punset

Av. Diagonal, 662-664, 08034 Barcelona (España)
www.planetadelibros.com

Primera edición en libro electrónico (epub): febrero de 2012

ISBN: 978-84-233-4370-6 (epub)

Conversión a libro electrónico: Newcomlab, S. L. L.
www.newcomlab.com